SOMMAIRE

C. Chararas : Les *Scolytidae* de l'Épicéa dans la forêt domaniale de Saint-Prix (Morvan) et mesures de protection des peuplements, p. 49. — C. Vago, J. Fosset & G. Meynadier : Élevage aseptique d'Insectes phytophages, p. 111.

LES *SCOLYTIDAE* DE L'ÉPICÉA DANS LA FORÊT DOMANIALE DE SAINT-PRIX (MORVAN) ET MESURES DE PROTECTION DES PEUPLEMENTS

PAR

Constantin Chararas

SOMMAIRE

Introduction 49

I. Caractéristiques de la forêt de Saint-Prix :

1° Conditions climatiques, p. 54; 2° Conditions pédologiques, p. 57; 3° Vitalité des peuplements et pression osmotique de l'Épicéa, p. 59; 4°. Les *Scolytidae* parasites de *Picea excelsa*, p. 63.

II Lutte contre les *Scolytidae* de la Forêt de Saint-Prix :

1° Lutte contre les *Scolytidae* de l'écorce, p. 84;

a) Préparation des arbres-pièges, p. 84; *b*) Traitement chimique des arbres-pièges, p. 90; *c*) Bilan général, p. 97.

2° Lutte contre les *Scolytidae* du bois, p. 99.

III. Directives pratiques pour la protection de la forêt de Saint-Prix :

1. Possibilité d'emploi de produits systémiques, p. 102; 2. Plan général de protection, p. 105.

Bibliographie, p. 108.

INTRODUCTION

Depuis 1958, M. le professeur Balachowsky m'encourageait vivement à suivre l'évolution des *Scolytidae* dans la forêt de Saint-Prix (Morvan) où il avait observé, dès 1942, différentes espèces particulières

Revue de Pathologie végétale et d'entomologie agricole de France
t. xl - n° 2 - Avril-Juin 1961

à ce peuplement forestier faisant encore partie du bassin de la Seine. Il m'a donné ainsi le désir de visiter cette forêt où j'ai pu observer en effet l'existence de populations de *Scolytidae* remarquablement denses et variées.

C'est en 1960, et grâce à l'intervention de M. Blais, directeur de l'Institut national agronomique, que la Direction générale des Eaux et Forêts et l'École nationale des Eaux et Forêts ont bien voulu me confier la mission d'assurer la protection de la forêt de Saint-Prix contre les *Scolytidae*.

Les dégâts provoqués par les *Scolytidae* dans la forêt de Saint-Prix prennent, en effet, des proportions inquiétantes puisqu'en 1951, *Ips typographus* L. a détruit à lui seul 15 302 m³ de bois, mais de 1949 à 1954 inclus, 11 278 m³ ont été attaqués en première série et 25 022 m³ en seconde série, c'est-à-dire au total 36 300 m³ pour l'ensemble des six années.

La protection contre les *Scolytidae* est d'autant plus importante que la forêt domaniale de Saint-Prix revêt un très grand intérêt économique, produisant un revenu annuel d'exploitation de 330 000 NF en moyenne; c'est ainsi qu'au cours des trois dernières années, elle a rapporté respectivement 312 506,60 NF en 1957, 360 410 NF en 1958 et 333 531,21 NF en 1959, soit un montant global de 1 006 447,81 NF pour 18 484 m³ de bois.

Par ailleurs, les facteurs suivants contribuent à favoriser la multiplication des *Scolytidae* dans les peuplements de Saint-Prix :

1° Cette forêt est constituée en effet d'une futaie presque pure de *Picea excelsa*; cette monoculture s'avère particulièrement propice à l'extension des *Scolytidae*. C'est pourquoi les insectes ne se localisent pas dans une zone déterminée mais se rencontrent dans l'ensemble du peuplement, et notamment dans les parcelles 1, 2, 4, 5, 6, 8, 9, 10, 11, 12, 15, 16, 21, 22, 23, 25, 26, 27, 29, 33, 34, 35, 37, 38, 40, 41, 48, 49, 50, 55, 56, 57, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 72, 73, 74, 76 et 81.

2° La sécheresse répétée des années 1949 (5,9 mm d'eau en juillet), 1955 (7 mm d'eau en avril) et 1959 (28 mm d'eau en février et 37 mm d'eau en juillet) a prédisposé l'Épicéa aux attaques des *Scolytidae* en provoquant un déséquilibre physiologique et une baisse de la pression osmotique, signe certain d'une diminution importante de vitalité qui rend les arbres incapables de résister à une attaque massive.

3° En réduisant la durée du cycle évolutif des insectes, l'élévation de la température pendant les mois d'été (juillet à septembre) a permis l'apparition d'une surpopulation importante qui est à l'origine des attaques massives.

4° L'existence d'arbres sur pied, attaqués et non exploités en temps

voulu a créé de multiples foyers d'extension qui posent le problème délicat de leur détection et de leur élimination.

5° Il est nécessaire de signaler enfin l'absence de méthode scientifique de lutte; en effet, antérieurement à mon arrivée dans la forêt de Saint-Prix, le service forestier procédait au poudrage des arbres-pièges dès leur abattage, ce qui conduisait les insectes à s'attaquer aux arbres sur pied du voisinage.

Loin de critiquer le service forestier dont le dévouement est au contraire digne d'éloges, je dois rappeler que la lutte contre les *Scolytidae* exige la connaissance approfondie du comportement de ces insectes et ne peut donc se concevoir sans l'intervention de spécialistes seuls capables de conseiller les mesures à prendre dans chaque cas particulier.

A priori séduisante, la pratique du poudrage des arbres-pièges lors de l'abattage doit être proscrite car l'Hexachlorocyclohexane (H C H), exhale une odeur fortement répulsive; dans ces conditions, les arbres-pièges ne peuvent attirer les *Scolytidae*, qui les évitent au contraire pour s'installer sur les arbres voisins.

En mai 1960, environ 700 arbres-pièges ainsi traités ont été heureusement délavés par une forte pluie, ce qui leur a permis de retrouver leur attractivité naturelle à l'égard des *Scolytidae*.

La méthode du poudrage des arbres-pièges avant l'essaimage ne serait susceptible de donner des résultats positifs que si les insecticides n'étaient pas répulsifs pour les *Scolytidae*.

L'existence de conditions écologiques aussi favorables fait tout naturellement de la forêt de Saint-Prix un foyer d'élection pour les *Scolytidae* dont on trouve des représentants de nombreuses espèces, d'importance d'ailleurs très inégale. Les dégâts sont imputables presque essentiellement à *Ips typographus* L. qui constitue de loin l'espèce la plus dangereuse. Il convient de citer ensuite *Dendroctonus micans* KUG. dont j'ai découvert la présence à Saint-Prix en 1959; j'ai d'ailleurs toutes raisons de croire que l'apparition de cette espèce est bien antérieure car j'ai trouvé en 1960 des biotopes abandonnés qui, selon mon estimation, ont dû être attaqués en 1954. Actuellement moins redoutable que *Ips typographus* L., *Dendroctonus micans* KUG. n'en constitue pas moins une grave menace dans un avenir proche pour les Épicéas si des mesures nécessaires ne sont pas prises pour enrayer son extension. Cette espèce peut, en effet, attaquer des Épicéas en parfait état de santé; c'est ainsi que dans les diverses parcelles déjà citées, certains Épicéas encore vigoureux hébergeaient jusqu'à 700 larves de *Dendroctonus micans* KUG.

Enfin, il existe de nombreuses espèces secondaires comme *Pityogenes chalcographus* L., *Cryphalus piceae* RATZ., *Polygraphus poligraphus* L., *Pityogenes bistridentatus* EICH., *Orthotomicus laricis* FABR.,

Hylurgops glabratus ZETT., *Hylurgops palliatus* GYLL., *Dryocoetes hectographus* REIT. et *Dryocoetes autographus* RATZ., dont les dégâts sont beaucoup moins importants car tous ces insectes vivent aux dépens d'arbres dépérissants ou déjà envahis par *Ips typographus* L.

Un séjour de plusieurs mois dans la forêt de Saint-Prix m'a permis, tout d'abord, de réaliser des recherches très poussées sur la pression osmotique des Épicéas et d'exécuter de nombreuses analyses biochimiques afin de préciser les corrélations existant entre la vitalité du biotope et l'installation des *Scolytidae*. D'autre part, pour bien connaître le comportement et la biologie des insectes, j'ai mesuré, à l'aide d'un thermo-couple électrique, la température du sol à diverses profondeurs, ainsi que la température de plusieurs centaines d'Épicéas attaqués et non attaqués. Ces mesures ont pour but de déterminer la température la plus favorable à l'installation et à l'évolution des divers *Scolytidae*.

Enfin, l'efficacité de la lutte a été assurée par une étude préliminaire de la sensibilité des *Scolytidae* aux divers insecticides de contact, complétée par des recherches sur l'attractivité des arbres-pièges et sur l'action des insecticides systémiques.

Avant d'exposer les résultats ainsi obtenus, je tiens à exprimer toute ma reconnaissance à M. MERVEILLEUX DU VIGNAUX, directeur général des Eaux et Forêts, à M. ROL, directeur de l'École nationale des Eaux et Forêts de Nancy et à

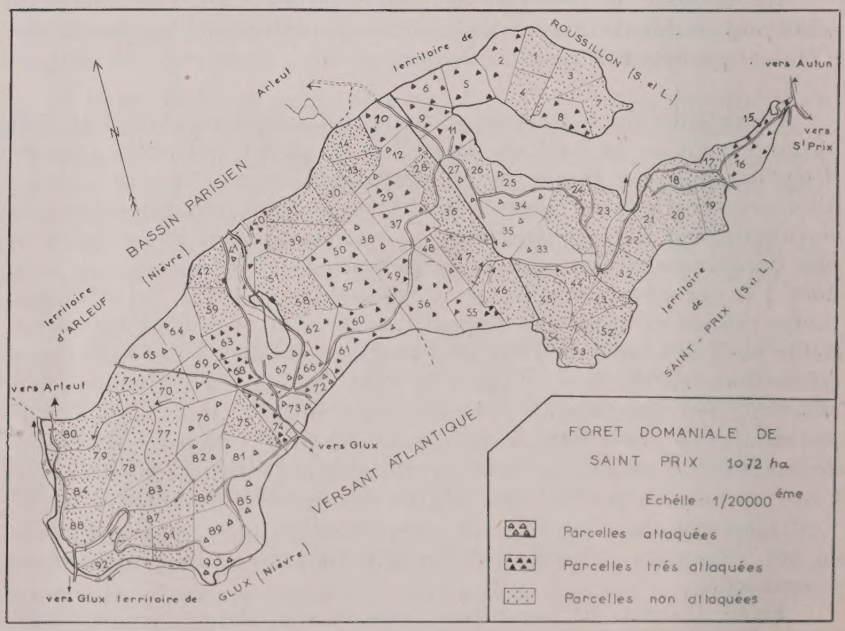


FIG. 1 : Carte d'ensemble de la forêt de Saint-Prix indiquant les parcelles indemnes, les parcelles attaquées et les parcelles très attaquées.

M. BLAIS, directeur de l'Institut national agronomique, pour leur bienveillant appui dans l'accomplissement de mes recherches.

Je me fais un plaisir d'adresser mes remerciements les plus sincères à M. MAZET, inspecteur des Eaux et Forêts d'Autun, qui a participé avec dévouement à toutes les opérations effectuées sur le terrain. De plus, il s'est mis à mon entière disposition pendant tout mon séjour dans la forêt et il m'a assuré sa plus large colla-

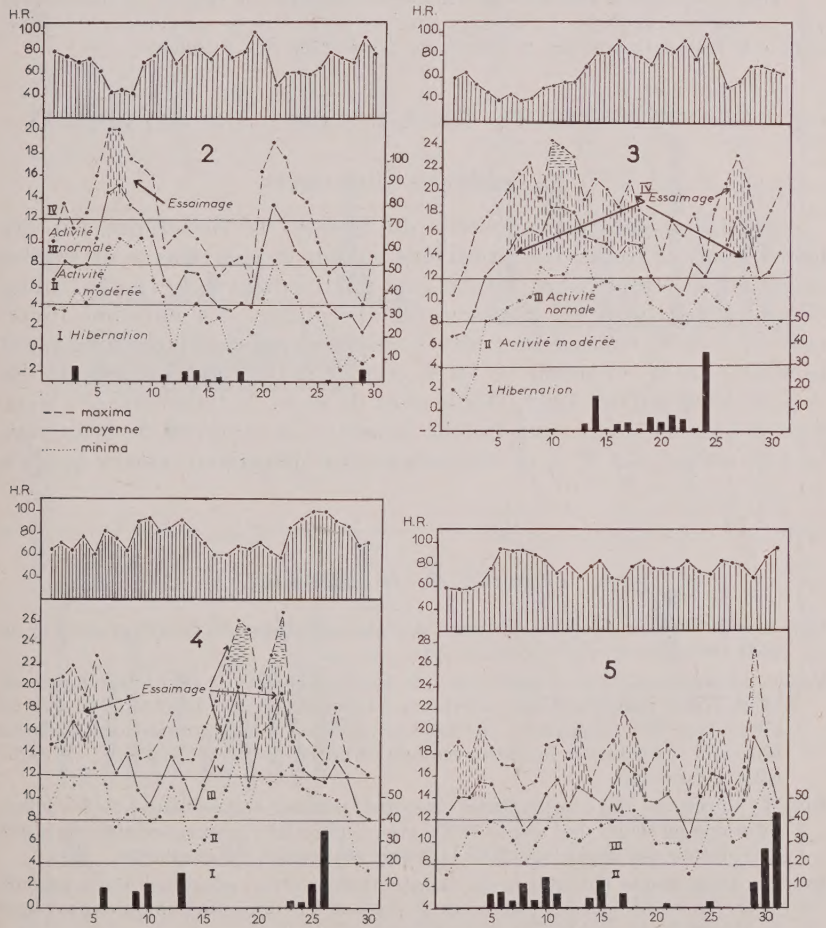


FIG. 2 : Variations des températures, des précipitations et de l'hygrométrie en avril 1960 dans la forêt de Saint-Prix.

FIG. 3 : Variations des températures, des précipitations et de l'hygrométrie du mois de mai 1960 dans la forêt de Saint-Prix.

FIG. 4 : Variations de la température, de la pluviométrie et de l'hygrométrie dans la forêt de Saint-Prix en juin 1960.

FIG. 5 : Variations des températures, de la pluviométrie et de l'hygrométrie pendant le mois de juillet 1960 dans la forêt de Saint-Prix.

boration pour la protection des peuplements de Saint-Prix. Je ne manquerai pas non plus de remercier ici tout le personnel de l'inspection d'Autun qui s'est intéressé à ce problème et plus particulièrement le chef de district M. Boizot et les agents des Eaux et Forêts, M. Dourthe et M. Paucod qui ont surveillé sans relâche l'ensemble des parcelles pour déceler les arbres attaqués, les traiter et diriger au mieux les équipes d'ouvriers forestiers chargés de l'exécution des méthodes de lutte.

Tous ces concours dévoués ont grandement facilité ma mission en me libérant des travaux essentiellement matériels pour me permettre de me consacrer entièrement à la mise au point des méthodes de destruction des *Scolytidae*.

I. CARACTÉRISTIQUES DE LA FORÊT DE SAINT-PRIX

1. Conditions climatiques

De façon générale le climat du Morvan se caractérise par des hivers longs et froids, des printemps chauds et courts avec de subites élévations de température; les étés sont relativement secs et les automnes présentent de brusques abaissements thermiques. La moyenne hivernale de + 2 °C masque de grandes amplitudes, les minima atteignant parfois — 10 °C et même — 15 °C comme il a été observé au lac des Settons le 19 janvier 1922. Dès le mois de mars, la température s'élève dans la journée, mais reste fraîche la nuit et la moyenne de printemps ne dépasse pas 8,8 °C avec des minima qui descendent encore jusqu'à

Légende de la planche

Fig. 6 : Variations des températures, des précipitations et de l'hygrométrie en août 1960 dans la forêt de Saint-Prix.

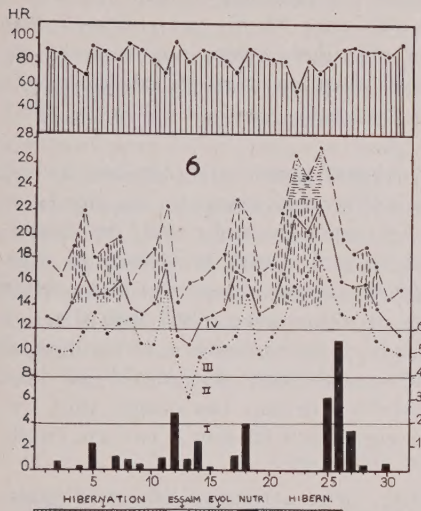
Fig. 7 : Variations de la température, de la pluviométrie et de l'hygrométrie en 1949. Noter dans la partie supérieure du graphique les différentes phases de l'évolution des *Scolytidae; en hachures obliques :* hibernation; *en hachures verticales :* évolution larvaire; *en noir :* nutrition de maturation; *en pointillés :* essaimage.

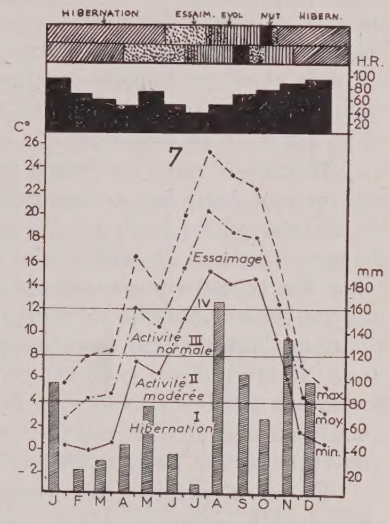
Fig. 8 : Variations des températures (maxima, minima et moyennes) et des précipitations au cours de l'année 1959, avec l'indication correspondante du stade d'évolution des *Scolytidae* dans la partie supérieure du graphique.

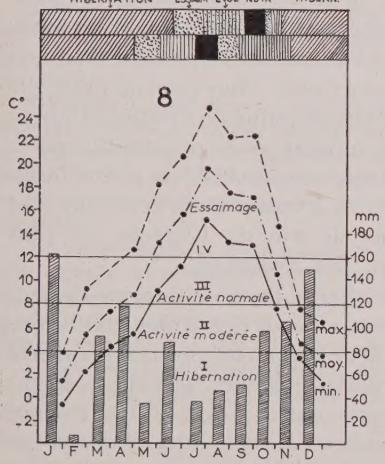
Fig. 9 : Diagramme climatique de l'année 1949. Noter l'existence d'une période aride *(en pointillés)* qui s'étend de la mi-juin à la fin juillet et qui a provoqué un déséquilibre physiologique de l'Épicéa.

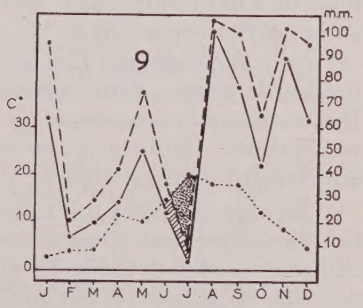
Fig. 10 : Diagramme climatique de l'année 1955, montrant deux périodes de sécheresse, en avril et en juillet-août. La première a provoqué un déséquilibre physiologique de l'Épicéa et la seconde, plus étendue, a favorisé l'extension des *Scolytidae*.

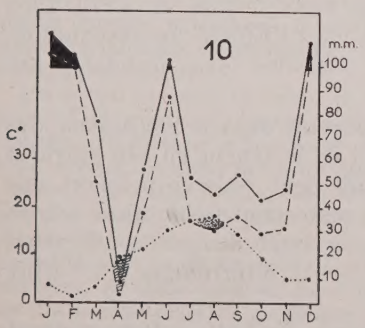
Fig. 11 : Diagramme climatique de l'année 1959. Noter la présence de deux périodes de sécheresse, l'une en février et l'autre en juillet. Ces deux périodes ont favorisé l'extension des *Scolytidae* et autorisé l'apparition de la surpopulation observée en 1960.

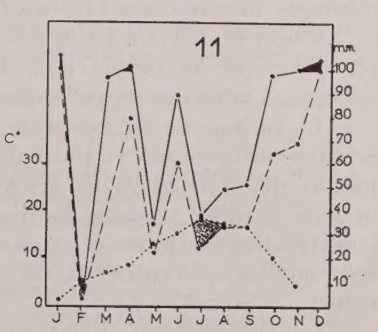

HR
6
IV
III
II
I


HIBERNATION
ESSAIM. EVOL
NUT
HIBERN.
H.R.
C°
7
Essaimage
IV
Activité III normale
Activité II modérée
I Hibernation
mm
max
moy
min.
J F M A M J J A S O N D


HIBERNATION
ESSAIM EVOL
NUTR
HIBERN.
C°
8
Essaimage
IV
III
Activité normale
II
Activité modérée
I
Hibernation
mm
max
moy
min.
J F M A M J J A S O N D


C°
9
m.m.
J F M A M J J A S O N D


C°
10
m.m.
J F M A M J J A S O N D


C°
11
m.m.
J F M A M J J A S O N D

— 4 °C. Pendant l'été, la température se stabilise autour de 16 °C mais la moyenne des maxima peut atteindre 35 °C; par contre, il fait relativement froid en automne. Les premières gelées apparaissent fin octobre et se prolongent quelquefois jusqu'en avril. C'est ainsi, par exemple, que l'on a enregistré aux Settons — 4 °C le 17 avril 1921 et — 1,2 °C le 18 mai 1923.

Hormis le mois de février et quelques jours en septembre, le ciel est presque toujours brumeux, les vents secs viennent du nord-est, du sud-est ou de l'est, tandis que les vents du sud-ouest, de l'ouest, du nord-ouest et du sud condensent les pluies dans la région des sommets. En ce qui concerne les précipitations, on a noté de 1894 à 1923 une moyenne annuelle de 179 jours de pluie avec 1 367 mm d'eau à Château-Chinon. Pour la même période, la commission météorologique de la Nièvre indique qu'il est tombé annuellement 855 mm d'eau dans 8 stations situées au sud et à l'ouest du Morvan. Les orages sont fréquents en été, et Château-Chinon a reçu ainsi 82 mm d'eau en vingt-quatre heures le 23 juin 1899.

Enfin, la neige, assez abondante, peut atteindre 40 cm d'épaisseur dans la région du Haut-Folin où elle persiste de novembre à avril.

Comme le Morvan dans son ensemble, la forêt de Saint Prix est soumise à des conditions climatiques assez rudes. Pour plus de précision les indications émanant de la station météorologique de Château-Chinon ont été complétées par des relevés de température et d'humidité effectués sur le terrain même, grâce à un enregistreur installé en pleine forêt. De tous ces renseignements, je me bornerai à indiquer ici ceux qui sont susceptibles d'influencer les conditions de vie de l'Épicéa ou plus directement l'installation et l'évolution des *Scolytidae*.

Bien que l'Épicéa soit très répandu à Saint-Prix, où il forme l'essentiel du peuplement forestier, son existence reste liée à des conditions climatiques bien définies. En effet, s'il peut supporter des températures de — 50 °C, il redoute par contre les grandes chaleurs estivales, surtout lorsqu'elles s'accompagnent de sécheresse car il s'agit d'une essence exigeant une humidité constante et régulière. C'est pourquoi des précipitations insuffisantes (9,8 mm en mars 1953, 7 mm en avril 1955 et 2,8 mm en janvier 1959) déterminent chez l'Épicéa un déséquilibre physiologique favorable aux attaques massives des *Scolytidae* qui détruisent ainsi des parcelles entières.

L'eau joue en effet un rôle très important dans le mécanisme des échanges osmotiques et toute diminution de la teneur en eau entraîne parfois des perturbations graves. L'arbre peut résister pendant une période variable, mais si l'apport d'eau reste trop faible alors que la transpiration se poursuit normalement, le sujet devient souffreteux, ses aiguilles se fanent, la photosynthèse est interrompue et l'arbre meurt.

Les diagrammes climatiques échelonnés de 1949 à 1960 mettent

en évidence les périodes arides défavorables à l'Épicéa. C'est ainsi, par exemple, qu'en juillet 1949, pour une température moyenne supérieure à 20 °C les précipitations n'atteignaient que 5,9 mm provoquant un déséquilibre physiologique général chez l'Épicéa.

Par ailleurs, la température constitue un facteur extrêmement important pour l'évolution des *Scolytidae* car elle conditionne dans une large mesure la date d'essaimage et la durée du cyle évolutif. Une série de graphiques annuels montre en effet que la température a permis en 1949 et 1959 un second essaimage dans certaines localités. Par contre, en 1960, la fraîcheur et l'humidité du mois de juillet ont retardé sensiblement le second essaimage qui a eu lieu au mois d'août. C'est donc en définitive la température et la durée de la saison chaude qui déterminent le nombre de générations annuelles, c'est-à-dire les possibilités d'extension des *Scolytidae*.

2. Conditions pédologiques

Dans son ensemble le sol du Morvan est essentiellement granitique, avec, par endroits, de faibles quantités de schistes et de quartzites ou de limons argileux; pour sa part, le massif du Haut-Folin (point culminant, 902 m) est formé de granulites.

Dès mon arrivée dans la forêt de Saint-Prix, j'ai pensé que le problème de la surpopulation des *Scolytidae* était étroitement lié aux conditions de vie de l'Épicéa. Bien que la chaleur et la sécheresse aient certainement favorisé dans une large mesure l'extension des insectes, il m'a paru nécessaire de rechercher s'il n'existe pas de relations indirectes entre les conditions pédologiques et l'évolution des *Scolytidae*.

De façon générale, *Picea excelsa* redoute la sécheresse et exige une atmosphère assez humide, ainsi que des pluies fréquentes pendant la période de végétation; c'est d'ailleurs pour cette raison que l'on considère l'Épicéa comme une essence spécifiquement montagnarde, et il apparaît ainsi que, dans la forêt de Saint-Prix, l'Épicéa se trouve à une altitude sensiblement inférieure à sa limite naturelle.

L'Épicéa est indifférent à la nature minéralogique du terrain, mais il réclame un degré d'humidité élevé et craint les sols filtrants exposés à la sécheresse; il redoute d'ailleurs également les eaux stagnantes, tout en s'accommodant d'un terrain relativement compact.

Alors que l'agriculteur peut modifier la composition du terrain par des amendements (engrais, irrigations), le sylviculteur n'a pas la possibilité d'agir sur la fertilité et l'humidité du sol forestier, et il doit se contenter de choisir des essences bien adaptées au terrain.

En ce qui concerne la teneur en eau, DUCHAUFOUR précise que « *la quantité maxima d'eau capillaire (augmentée de l'eau hygroscopique) que peut retenir un sol correspond sensiblement à la porosité capillaire ou microporosité. Cette eau absorbée par les racines, constitue la source essentielle de l'alimentation en eau, des plantes en saison sèche* ». Par contre, l'eau hygroscopique, c'est-à-dire l'eau provenant de l'humidité atmosphérique n'intervient pas dans ce processus, de telle sorte que seule une fraction de l'eau du sol est utilisable par les plantes. Or la vie végétale est conditionnée par la présence dans les tissus d'une quantité d'eau relativement importante. Si cette quantité d'eau est insuffisante, comme cela se produit au cours des années sèches, en particulier en avril et en juillet, l'Épicéa souffre rapidement d'un déséquilibre physiologique qui autorise l'extension des *Scolytidae*.

L'aération du sol constitue également un facteur extrêmement important, dans la mesure où elle favorise la respiration des racines et l'activité des micro-organismes. De façon générale, la porosité diminue lorsque la structure originelle est en voie de dégradation. Dans ce cas, la capillarité en air devient rapidement insuffisante et il arrive parfois que les pores soient saturés d'eau en période de pluie. En sol compact, l'aération devient alors très difficile et l'arbre souffre. En effet, la respiration des racines des végétaux est assurée normalement par l'oxygène qui circule dans les pores du sol; mais si la structure du sol est mauvaise (porosité faible), la saturation en eau peut provoquer une asphyxie des racines. A cet égard, l'Épicéa se classe parmi les essences les plus fragiles car il exige un sol bien aéré. Par ailleurs, dans les terrains trop compacts, les microorganismes effectuent plus difficilement leur travail de décomposition des matières organiques qui donne naissance à la couche d'humus. Sur ce point, les conditions sont très satisfaisantes dans la forêt de Saint-Prix, où la couverture d'humus atteint par endroit une épaisseur de 25 cm.

Pour connaître la composition du sol et établir des comparaisons entre les différentes parcelles, il était indispensable de recourir aux services d'un spécialiste qualifié. Il s'agit, en effet, d'un travail long et délicat et je tiens à exprimer ici mes plus vifs remerciements à M. Duchaufour pour la série d'analyses qu'il a bien voulu effectuer à mon intention.

Il ne saurait être question de reproduire ici toutes ces analyses mais il me paraît intéressant d'indiquer les résultats les plus significatifs, qui permettent de se faire une idée d'ensemble de la nature du terrain dans la forêt de Saint-Prix.

Dans l'ensemble, et malgré d'inévitables variations locales sur une superficie totale de 1 072 ha, il s'agit d'un sol du type Ranker de montagne, mais avec une tendance très nette à se transformer en sol ocre podzolique; il se caractérise en particulier par un rapport carbone/azote très élevé et surtout par sa très faible teneur en calcium qui donne un rapport potassium/calcium anormalement élevé.

L'humus est du type Moder, intermédiaire entre Mor et Mull. Selon M. Duchaufour, la litière se décompose plus rapidement que dans le Mor et donne naissance à un horizon A0 de 2 à 3 cm seulement; par contre, l'horizon A1 est assez épais (10 cm) et se distingue par sa coloration noire.

Le Moder est un humus de transition, caractéristique des sols forestiers qui se trouvent en voie de dégradation, comme par exemple les sols lessivés faiblement podzoliques ou les sols bruns podzoliques sur pentes de roches cristallines. D'après M. Duchaufour, il a pour caractéristiques essentielles un rapport C/N de A1 de l'ordre de 20 et un pH inférieur à 5.

Les podzols sont défavorables à la vie végétale car l'horizon A0-A1 est physiologiquement sec et ne permet pas la nutrition en eau des plantes en été. D'autre part la forte acidité de l'humus du type Mor est toujours nuisible, sa décomposition est très lente et il est très pauvre en azote; enfin les bases K^+ et Ca^{++} se trouvent retenues énergiquement par le complexe absorbant en raison de sa faible saturation (Duchaufour).

En ce qui concerne l'acidité, il me paraît indispensable de souligner que le sol est particulièrement acide avec un pH toujours inférieur à 5. Le tableau montre par exemple que, dans la parcelle 6, l'horizon A0 (0-2 cm) a un pH de 3,2 et l'horizon B1 (25-60 cm) un pH de 4,5; il en est ainsi dans presque toutes les parcelles, et cette acidité à dominance des ions H^+ montre qu'il s'agit d'un sol en grande partie désaturé. Le pH renseigne en effet sur le degré de saturation en bases de l'humus, et d'après M. Duchaufour on peut admettre que la décomposition de la litière reste active tant que le pH est supérieur à 5; la valeur 5 correspond à un type d'humus de transition (p. ex. Moder) alors qu'en dessous de 5 l'humus évolue vers le Mor.

Le rapport carbone/ azote (C/N) est un indice très précieux pour caractériser l'humus car il renseigne sur la teneur de l'humus en azote, celle-ci étant d'autant plus élevée que le rapport C/N est plus faible. On note en effet que dans la parcelle 12, où le peuplement mixte comporte environ 80 % de Hêtres et 20 % d'Épicéas, ce rapport est nettement plus faible (donc la teneur en azote plus forte) que dans les autres parcelles plantées exclusivement d'Épicéas.

Composition chimique du sol de quelques parcelles
(% de terre sèche à l'air)

HORIZONS	pH	ARGILE	LIMONS Fins	LIMONS Gros	SABLES Fins	SABLES Gros	MAT. ORGAN.	C	N	C/N	Ca (1)	K (1)	K/Ca	CAILL.	
PARCELLE N° 6 (Station 7, alt. 840 m)															
A0 (0- 2 cm)	3,2	...	...	...	...	...	59,8	29,89	1,06	28,2					
A1 (0-10 cm)	3,5	...	...	...	...	...	15,5	7,75	0,31	25,0	0,60	0,34	0,57	26	%
A2 (10-25 cm)	4,3	14,4	23,6	12,0	9,1	29,2	7,7	4,47	...	...	0,30	0,15	0,50	31	%
B1 (25-60 cm)	4,5	13,1	25,0	13,4	11,0	26,8	5,6	3,23	...	...	0,20	0,11	0,55	33	%
PARCELLE N° 15 (Station 8, alt. 650 m)															
A0 (0- 2 cm)	3,4	...	...	...	...	...	73,8	36,90	1,16	31,8					
A1 (0-10 cm)	3,6	18,1	15,2	5,3	5,3	39,0	12,5	6,27	0,21	29,9	0,30	0,30	1	46	%
A2 (10-25 cm)	4,1	16,7	17,8	13,0	6,8	32,5	8,6	4,98	0,17	29,3	0,20	0,16	0,8	30	%
B1 (25-60 cm)	4,4	17,3	17,7	7,3	7,4	41,9	4,1	2,40	...	...	0,05	0,10	2	25	%
PARCELLE N° 12 (Station 6, alt. 870 m)															
A0 (0- 2 cm)	3,4	...	...	...	...	...	45,8	22,88	1,27	18,0					
A1 (0-10 cm)	3,6	...	...	...	...	...	15,7	7,84	0,42	18,7	0,40	0,37	0,92	21	%
A2 (10-25 cm)	4,3	15,1	18,9	8,3	12,2	30,1	10,0	5,81	0,31	18,7	0,30	0,22	0,73	26	%
B1 (25-60 cm)	4,4	16,3	19,3	10,4	12,8	27,5	10,0	5,81	0,30	19,4	0,27	0.18	0,67	31	%
PARCELLE N° 56 (Station 4, alt. 875 m)															
A0 (0- 2 cm)	3,8	...	...	...	...	...	41,3	20,66	0,93	22,2					
A1 (0-10 cm)	3,5	13	15,5	6,3	8,2	39,0	13,5	6,73	0,24	28,0	0,85	0,26	0,31		
A2 (10-25 cm)	4,1	11,6	19,5	6,9	7,7	35,1	14,8	7,38	0,27	27,3	0,37	0,20	0,54	35	%
B1 (25-60 cm)	4,6	12,7	20,3	8,6	7,5	38,3	8,2	4,79	...	...	0,20	0,15	0,75	31	%
PARCELLE N° 74 (Station 1, alt. 775 m)															
A0 (0- 2 cm)	3,6	...	...	...	...	...	30,3	15,13	0,73	20,7					
A1 (0-10 cm)	3,8	...	...	...	...	...	21,8	10,89	0,55	19,8	0,40	0,42	1,05		
A2 (10-25 cm)	4,3	...	...	...	...	...	17,3	8,67	0,43	20,2	0,19	0,26	1,37		
B1 (25-60 cm)	4,6	17,0	29,5	12,5	14,3	11,7	9,4	5,44	...	...	0,11	0,13	1,18	17	%

(1) En milliéquivalents pour 100 g.

3. Vitalité des peuplements et pression osmotique de l'Épicéa

Dès mon arrivée dans la forêt de Saint-Prix, j'ai tout de suite pensé que le déséquilibre physiologique de l'Épicéa, d'une part, et la surpopulation de *Ips typographus* L. d'autre part, étaient les deux principaux facteurs responsables des attaques.

Au cours de précédentes recherches, j'ai déjà eu l'occasion de préciser les conditions qui favorisent l'extension des *Scolytidae* et j'ai montré qu'il existe des relations certaines entre les variations de vitalité de l'essence et l'installation des insectes. Ceux-ci vivent en effet généralement aux dépens d'arbres en déséquilibre physiologique, exception faite de certaines espèces dites primaires, qui peuvent attaquer des sujets tout à fait sains.

C'est pourquoi, lorsque la transpiration est forte ou le sol pauvre en eau, l'ascension de l'eau n'est parfois plus assez importante pour compenser la déperdition; les pressions à l'intérieur de la tige deviennent alors négatives et les feuilles se flétrissent. Si la transpiration est au contraire très faible, l'eau perdue est facilement remplacée et il s'établit une pression interne positive.

La vie d'un arbre dépendant directement des échanges cellulaires, eux-mêmes conditionnés par la pression osmotique, j'ai pu déceler un rapport étroit entre la vitalité des conifères et l'installation des *Scolytidae* (C. CHARARAS, C. R. Acad. Sciences).

J'ai montré d'autre part que les composants terpéniques caractéristiques des oléorésines exercent sur les *Scolytidae* un stimulus cinétique, positif ou négatif, qui détermine leur spécificité (C. CHARARAS, C. R. Acad. Sciences).

Dans la forêt de Saint-Prix, le problème revêt un aspect un peu particulier car l'Épicéa ne s'y trouve pas dans sa station naturelle. Les peuplements étudiés se situent, en effet, entre 600 et 900 m alors que la zone du *Picetum* correspond normalement à une altitude plus élevée, dont les caractéristiques climatiques conviennent beaucoup mieux à la croissance de l'Épicéa. Dans ces conditions, l'équilibre physiologique des peuplements de Saint-Prix reste toujours précaire, ce qui explique que de nombreux sujets soient attaqués sur pied lors du premier essaimage (avril-mai). Ces attaques sont tout particulièrement importantes après un printemps sec, entraînant une diminution sensible de l'hygrométrie et de la pluviométrie durant les mois de mars, avril et mai. En aggravant les effets du manque d'eau, la transpiration détermine rapidement une déficience physiologique marquée qui constitue un stade critique pour l'Épicéa.

Pour préciser la vitalité de cette essence dans la forêt de Saint-Prix, j'ai déterminé systématiquement la pression osmotique corticale de sujets vigoureux, souffreteux ou attaqués; il n'est pas possible de reproduire ici toutes les mesures effectuées, mais je donnerai à titre indicatif quelques exemples des valeurs osmotiques caractéristiques (minimum et optimum) enregistrées dans les parcelles 6, 8, 9, 10, 12, 15, 16, 25, 48, 49, 55, 56, 57, 61, 63, 64, 65, 68, 73, 74, 76, 81 et 85.

Relations entre l'attaque des *Scolytidae* et la vitalité de l'Épicéa définie par la pression osmotique de l'écorce

(La lettre A indique les arbres attaqués.)

N°	PARTICULARITÉS DE LA PARCELLE	IMPORTANCE DES ATTAQUES DANS LA PARCELLE	PRESSION OSMOTIQUE en Atm. Mai-juin Minim.	Mai-juin Optim.	Juillet Minim.	Juillet Optim.
6.	Alt. 820-840 m. — Expos. Nord-Est-Est. Futaie résineuse, Épicéa pur de 105-114 ans.	Attaquée par *Ips*, 5 places vides par suite des attaques.	6,32 A 6,21 A 7,02 A	8,30	7,45 A 7,81 A 7,32	8,57
8.	Alt. 790-860 m. — Expos. Sud-Est. Futaie résineuse, Épicéa pur de 106 ans.	Très attaquée par *Ips*, 7 places vides par suite des attaques.	6,04 A 6,28 A 6,96 A	7,82 A	7,25 A 7,31 A 7,84 A	9,06
9.	Alt. 830-860 m. — Expos. Nord-Est. Épicéa pur de 100 ans.	Attaquée par *Ips*, 4 places vides.	7,28 7,41 6,9 A	8,04	7,86 A 8,32 8,55	9,31
10.	Alt. 841-865 m. — Expos. Nord. Épicéa pur de 109-122 ans.	Attaquée, 5 places vides.	7,38 8,62 7,31 A	8,21	8,31 7,96 A 7,85	9,21
12.	Alt. 860-895 m. — Expos. Nord. Épicéa 90 %, Hêtre 10 %. De 110 ans.	Attaquée, 3 places vides.	7,61 6,31 A 6,21 A	8,86	8,26 8,31 8,10	9,25
15.	Alt. 660-675 m. — Expos. Nord-Est. Épicéa à l'état pur, de 100 ans.	Attaquée, 3 places vides.	6,21 A 6,38 A 6,41 A	8,36	8,14 7,85 A 7,91 A	9,45
16.	Alt. 670-700 m. — Expos. Nord-Est. Épicéa à l'état pur, de 100 ans.	Attaquée, 6 places vides.	7,21 A 7,32 7,18 A	8,62	7,32 A 7,64 A 8,10	9,36
25.	Alt. 740-780 m. — Expos. Est-Nord. Épicéa 50 %, Sapin 50 %. De 56 à 80 ans.	Faiblement attaquée. Seulement une place bostrychée.	7,31 A 7,28 7,38	8,41	8,96 8,14 8,54	9,85
48.	Alt. 840-975 m. — Expos. Nord-Est. Épicéa pur de 113 ans.	Apparition des dégâts en 1959.	8,07 7,95 6,45 A	8,02	8,52 8,02 7,65	9,42
49.	Alt. 850-880 m. — Expos. Sud-Sud-Ouest. Épicéa pur de 113 ans.	Forte apparition des *Scolytidae* en 1959. 7 places vides.	7,41 7,24 6,31 A	8,83	7,35 A 7,42 A 8,10	9,04
55.	Alt. 820-875 m. — Expos. Est-Sud-Est. Épicéa pur de 113 ans.	Forte apparition des *Scolytidae* en 1959. 9 places vides.	6,81 A 6,30 A 7,10 A	7,86 A	7,50 A 7,58 A 8,25	9,38
56.	Alt. 850-875 m. — Expos. Ouest. Épicéa de 112 ans.	Attaquée, 5 places vides.	7,24 6,84 A 7,25	7,79 A	7,45 A 8,21 7,34	9,65
57.	Alt. 820-865 m. — Expos. Sud-Sud-Ouest. Épicéa pur de 100 ans.	Attaquée, 7 places vides.	6,92 A 6,85 A 7,45	8,06	7,86 A 8,21 8,32	9,46
61.	Alt. 820-870 m. — Expos. Sud-Ouest. Épicéa pur de 110 ans.	Attaquée, 3 places vides.	6,86 A 7,25 6,92 A	7,96 A	7,24 A 8,26 7,32	9,80
63.	Alt. 800-850 m. — Épicéa à l'état pur de 102 ans.	Attaquée, 8 places vides.	6,35 A 6,82 A 7,18 A	8,10	8,23 7,96 A 8,27	9,71
64.	Alt. 825-845 m. — Expos. Ouest. Épicéa 50 %, Sapin 50 %. De 72 à 79 ans.	Apparition des dégâts en 1959. 6 places vides.	7,25 7,32 7,21 A	8,81	8,36 8,52 8,26	9,66
65.	Alt. 785 à 830 m. — Expos. Ouest. Épicéa 7, Sapin 3. De 70 à 80 ans.	Apparition des dégâts en 1959.	7,31 7,18 7,09 A	8,65	8,71 8,27 9,06	9,66
68.	Alt. 800-835 m. — Expos. Sud-Est. Épicéa pur de 102 ans.	Attaquée, 7 places vides.	6,96 A 7,12 A 7,04 A	8,20	8,32 A 8,25 8,10	9,25

N°	PARTICULARITÉS DE LA PARCELLE	IMPORTANCE DES ATTAQUES DANS LA PARCELLE	PRESSION OSMOTIQUE en Atm. Mai-juin Minim.	Optim.	Juillet Minim.	Optim.
74.	Alt. 775-805 m. — Expos. Sud-Est. Épicéa 9 %, Divers 10 %. Age de l'épicéa, 102 ans.	Attaquée, 10 places vides.	7,06 A 6,91 A 7,61	8,40	8,36 8,21 8,26	9,62
76.	Alt. 775-805 m. — Expos. Sud-Sud-Ouest. Épicéa 4, Sapin 6. De 52 à 77 ans.	Faiblement attaquée.	7,28 7,18 A 7,12 A	8,46	8,56 8,71 8,36	9,45
81.	Alt. 775-795 m. — Épicéa 3, Sapin 2. De 67 à 79 ans.	Faiblement attaquée.	7,24 8,04 7,92	8,81	9,06 8,81 8,24	9,80
85.	Alt. 755-780 m. — Épicéa 30 %, Aulne 10 %, Sapin 50 %, Hêtre 10 %. De 67 à 79 ans.	Très faible apparition de *Scolytidae* en 1959.	7,38 A 7,96 8,06	8,91	8,30 8,20 9,27	9,94

Sur la base de ces résultats, il est possible de formuler les conclusions suivantes :

1° La pression osmotique de chaque sujet n'est pas constante car les facteurs climatiques influencent la vie et l'équilibre physiologique de l'Épicéa.

On voit en effet que la pression osmotique est relativement basse en mai-juin en raison d'une longue période de sécheresse. A cette époque, les sujets dont la pression osmotique ne dépasse pas 7 atm. sont destinés à être attaqués très rapidement en cas de sécheresse persistante ou de trop fortes chaleurs; cette valeur constitue donc le minimum osmotique, c'est-à-dire le seuil critique d'attaque.

Par contre, si les conditions climatiques redeviennent plus favorables à la suite de précipitations abondantes ou de l'élévation de l'humidité atmosphérique, les arbres non encore attaqués peuvent retrouver leur vitalité avec une pression osmotique optimale.

L'optimum osmotique se détermine à partir de l'écorce d'arbres très vigoureux qui sont précisément réfractaires à l'installation des *Scolytidae ;* par ailleurs, dans les conditions optimales de pression osmotique je n'ai jamais pu réussir d'infection expérimentale, même avec *Ips typographus* L.

Il convient cependant de signaler qu'en cas de pullulation, *Ips typographus* L. peut attaquer des Épicéas dont la pression osmotique est voisine de l'optimum.

L'optimum étant, par définition, directement lié à la vitalité d'un arbre, plus les conditions climatiques, pédologiques et sylvicoles s'avèrent favorables, plus cet optimum se rapproche de sa valeur idéale.

2° En pratique, malgré le niveau général très bas en mai et juin, aucun Épicéa n'a été attaqué lorsque sa pression osmotique dépassait 8 atm.; par contre, les *Scolytidae* se sont installés très rapidement et souvent de façon massive sur les arbres dont la pression osmotique restait inférieure à 8 atm., valeur qui représente donc l'optimum de l'Épicéa à Saint-Prix.

3° Dans la forêt de Saint-Prix, en effet, l'essence souffre tout spécialement de la sécheresse, et l'Épicéa des régions alpines (Haute-Savoie) supporte beaucoup mieux des conditions climatiques défavorables que l'Épicéa de Saint-Prix. C'est ainsi que sur le mont Salève, l'optimum osmotique de l'essence s'établissait à 10,42 atm. en mai-juin et en août 1959, avec un minimum de l'ordre de 8,55 atm., alors qu'à Saint-Prix le minimum oscillait entre 6,40 et 7 atm. en mai 1960.

4° En conséquence, les années chaudes et sèches font peser une grave menace sur les Épicéas de la forêt de Saint-Prix, surtout si *Dendroctonus micans* KUG. et *Ips typographus* L. s'y trouvent en surpopulation, comme en 1960.

C'est pourquoi la lutte de base doit toujours être complétée par des mesures d'entretien destinées à éviter l'extension et la pullulation des espèces dangereuses.

5° L'existence de « trouées bostrychées » crée des conditions tout spécialement favorables à l'installation des *Scolytidae*; en effet, les vides provoqués par l'abattage des arbres attaqués modifient le microclimat car l'ensoleillement direct y devient beaucoup plus intense; d'autre part, les *Scolytidae* s'y trouvent déjà à l'état endémique; enfin, en cassant ou en déracinant plus facilement les arbres, l'action mécanique du vent favorise l'extension des insectes.

6° Par contre, on augmente sensiblement la résistance des Épicéas en introduisant dans les peuplements d'autres essences résineuses ou des essences feuillues. A cet égard, la liste des parcelles non attaquées montre qu'il s'agit dans tous les cas de peuplements mixtes.

En définitive, pour assurer la protection de la forêt de Saint-Prix, il est donc nécessaire de compenser la mauvaise adaptation de l'Épicéa par une surveillance constante des peuplements, tout en s'efforçant, dans la mesure du possible, d'éviter la monoculture de cette essence.

4. Les *Scolytidae* parasites de *Picea excelsa*

Il n'est pas dans mon intention d'entreprendre ici un exposé complet du mode de vie de chaque espèce, mais simplement de donner les indications biologiques indispensables pour l'organisation de la lutte dans la forêt de Saint-Prix.

En ce qui concerne l'étude détaillée de tous les *Scolytidae* qui vivent en France aux dépens des conifères, je renvoie le lecteur à l'ouvrage en cours de parution sur ce sujet (C. CHARARAS, Biologie des *Scolytidae* des conifères, Ed. P. Lechevalier, Paris).

Mon objectif actuel visant exclusivement la protection de la forêt de Saint-Prix, je tiens à signaler les différentes espèces en évolution dans ce peuplement, en insistant tout spécialement sur leur importance économique locale. Négligeant les espèces rares ou peu dangereuses à Saint-Prix, je limiterai les précisions d'ordre biologique aux quelques

insectes véritablement redoutables ou susceptibles de le devenir en cas de surpopulation.

a) Espèces actuellement reconnues a Saint-Prix

1. ***Ips typographus*** LINNE

— Insecte très répandu et très nuisible dans la forêt de Saint-Prix où il provoque de graves dégâts sur *Picea excelsa.*

- Espèce nettement primaire existant dans toutes les parcelles.

— En 1960, premier essaimage début mai.

— Deux générations annuelles, mais en 1960 la seconde n'a eu aucune évolution par suite d'une lutte efficace.

— *Espèce à surveiller car elle représente une grave menace pour la forêt de Saint-Prix depuis dix ans environ.*

2. ***Ips sexdentatus*** BOERNER.

— Bien que cette espèce primaire s'attaque aux différents pins, au sapin et à l'Épicéa, elle reste actuellement très rare dans la forêt de Saint-Prix.

— J'ai trouvé cet insecte sur *Pinus sylvestris* dans un peuplement privé voisin de la forêt de Saint-Prix (forêt du marquis de La Guiche).

— Essaimage en mai. — Évolution comme *Ips typographus* L. avec deux générations annuelles.

3. ***Ips amitinus*** EICHHOFF.

— Espèce très rare dans la forêt de Saint-Prix, où je l'ai trouvée pour la première fois en 1960.
Dans les conditions actuelles, l'insecte n'a aucune importance économique en raison de sa rareté.

4. ***Dendroctonus micans*** KUGELMANN.

- Reconnu par moi-même en 1959 pour la première fois dans la forêt de Saint-Prix, cet insecte a pris depuis lors une extension rapide et il est aujourd'hui très répandu.

— Espèce primaire très dangereuse pour l'Épicéa, car elle peut attaquer les sujets vigoureux tout en préférant les arbres blessés ou souffreteux.

— Essaimage début mai, avec une génération complète dans l'année. En 1960, le deuxième essaimage a été très réduit au mois d'août.

— *Espèce à surveiller.*

5. ***Polygraphus poligraphus*** LINNE.

Insecte très fréquent qui vit aux dépens des Épicéas dépérissants mais peut attaquer éventuellement des arbres sains.

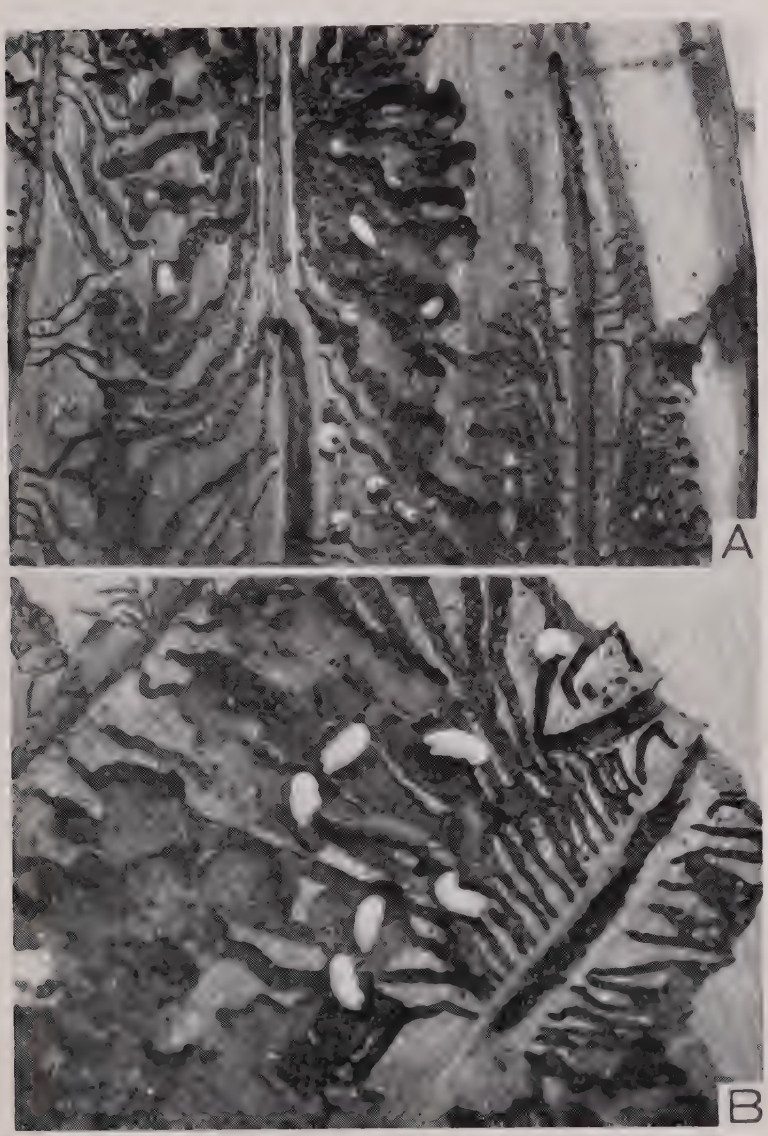
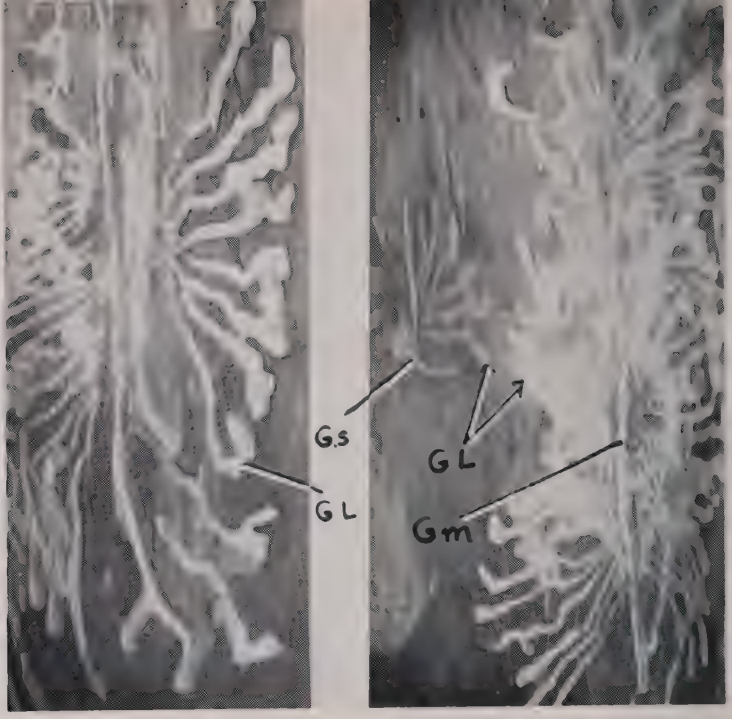


FIG. 12A et 12B. — Système de galeries maternelles et larvaires de *Ips typographus* L., insecte responsable des plus graves dégâts dans la forêt de Saint-Prix. Noter en A le début du stade nymphal où la larve se trouve encore enfoncée dans l'écorce; en B, stade nymphal; à ce stade, l'action des insecticides est très efficace, car la nymphe se détache et se trouve très facilement en contact avec les produits toxiques. Noter l'absence totale d'insectes immatures.



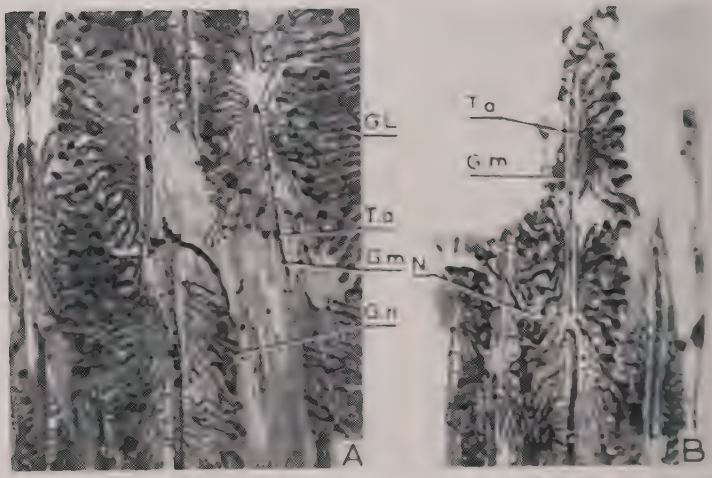


FIG. 13 (*en haut*) : Ces deux systèmes montrent des galeries maternelles (Gm) et larvaires (GL) de *Ips typographus* L. Le système de petites dimensions (Gs) provient d'une génération-sœur qui peut provoquer des dégâts considérables. On doit donc vérifier en juin-juillet, puis en août, l'existence de ces générations-sœurs pour les traiter.

FIG. 14A et 14B (*en bas*) : Systèmes de galeries maternelles et larvaires de *Ips typographus* L. Noter la présence d'une surpopulation caractérisée : sur un échantillon de 20 cm², j'ai dénombré, en effet, plus de 450 larves qui se sont transformées en nymphes (N) dans le courant du mois de juin (Galeries maternelles : Gm ; Galeries larvaires : GL ; galeries de nutrition : Gn ; trou d'aération : Ta).

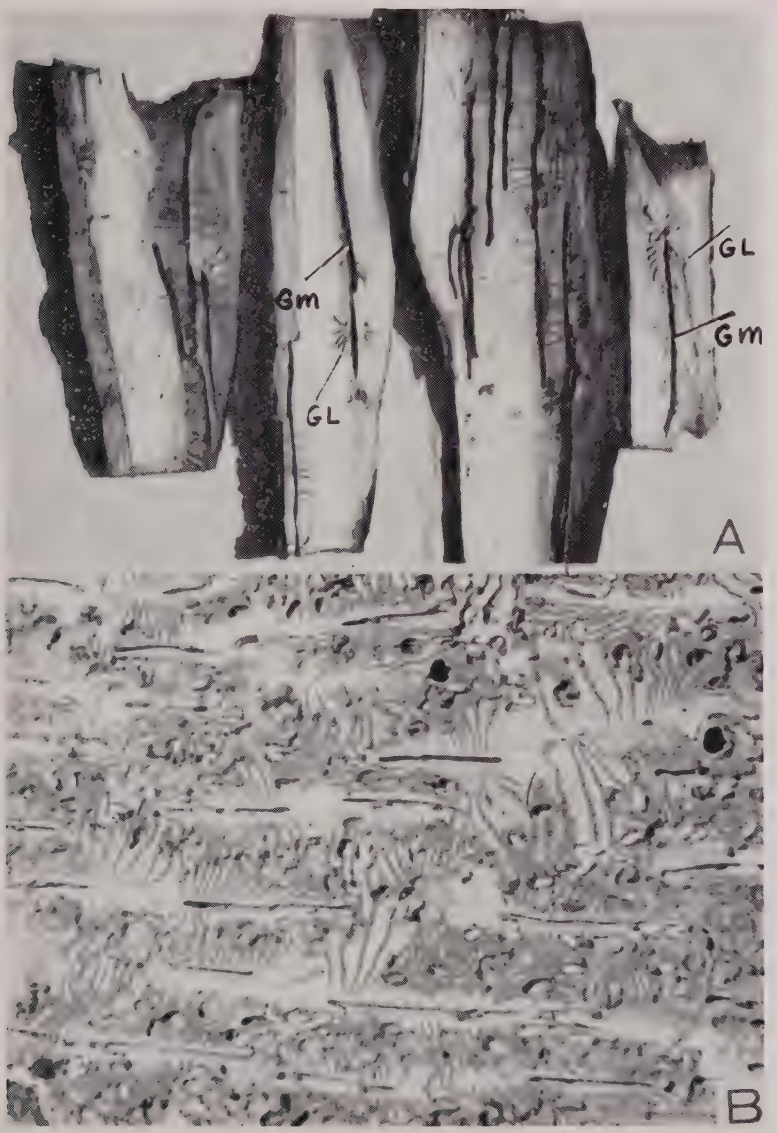


FIG. 15A et 15B : En A, galeries maternelles (Gm) et larvaires (GL) de *Ips typographus* L. avec larves au début de leur évolution. A ce stade, la pulvérisation directe sur la face externe de l'écorce n'a aucun effet et les larves continuent leur évolution comme on le voit sur la figure B. Il faut donc écorcer l'arbre avant traitement pour que les insecticides puissent entrer en contact avec les insectes.

FIG. 16 : Parcelle 55 de la forêt de Saint-Prix. Epicéas très attaqués par *Ips typographus* L. En A, attaque des arbres sur pied par *Ips typographus* L. avec élargissement des trouées. En B, même attaque mais l'extension est plus limitée.

— L'espèce n'est pas responsable de graves dégâts dans la forêt de Saint-Prix, mais il convient cependant de surveiller son évolution dans l'avenir.

6. ***Pityogenes chalcographus*** LINNE.

— Très répandu, s'attaque aux branches de *Picea excelsa.*

— Espèce secondaire pour la forêt de Saint-Prix, mais cependant à surveiller car une surpopulation menacerait les jeunes Épicéas et une période sèche favoriserait l'extension de cet insecte, qui attaquerait alors les branches des sujets sains.

— Essaimage 15 mai. Évolution complète de la première génération jusqu'au mois d'août.

7. ***Pityogenes (Pityoceragenes) bidentatus*** HERBST.

— Espèce rare dans la forêt de Saint-Prix, montrant une préférence marquée pour les branches de *Picea.*

— Essaimage en mai. Évolution complète d'une génération en 1960. La seconde génération a été très réduite.

— L'espèce ne présente aucun danger à Saint-Prix.

8. ***Cryphalus piceae*** RATZEBURG et

9. ***Cryphalus abietis*** RATZEBURG.

— Ces deux espèces s'attaquent aux branches de *Picea excelsa* et d'*Abies pectinata* mais ne provoquent que des dégâts très limités.

— Importance économique tout à fait négligeable pour l'instant. Une surpopulation risquerait cependant de provoquer des dégâts sur les branches de sujets sains.

— Insectes à essaimage hâtif; 2 générations annuelles mais la seconde n'a pas pu terminer son évolution en 1960.

— *Espèces à surveiller.*

10. ***Orthomicus proximus*** EICHHOFF et

11. ***Orthomicus laricis*** FABRICIUS

— Espèces s'attaquant aux sujets souffreteux ou dépérissants et aux troncs abattus.

— Sans danger pour la forêt de Saint-Prix.

12. ***Xyloterus lineatus*** OLIVIER

— Espèce secondaire s'attaquant aux arbres abattus ou morts sur pied.

— Essaimage en avril.

— Évolution d'une génération complète dans l'année avec début d'une seconde génération.

— Les dégâts sont surtout d'ordre technique.

- Importance forestière très limitée à Saint-Prix.

13. ***Pityophthorus pityographus*** RATZEBURG et

14. ***Pityophthorus exsculptus*** RATZEBURG

- Espèces d'extension très limitée, s'attaquant aux petites branches dépérissantes.

- Évolution identique à celle de *Pityogenes*, mais signification nulle pour la forêt de Saint-Prix.

15. ***Hylurgops palliatus*** GYLLENHALL,

16. ***Hylastes ater*** PAYKULL,

17. ***Hylastes cunicularius*** ERICHSON et

18. ***Dryocoetes autographus*** RATZEBURG

— Ces quatre espèces n'ont aucune importance économique dans la forêt de Saint-Prix.

— Il s'agit d'insectes secondaires, vivant sur les arbres abattus ou morts sur pied, ou même dans les souches.

— Cependant les deux *Hylastes* peuvent provoquer des dégâts dans les pépinières et les reboisements car ils pratiquent leurs morsures de nutrition aux dépens de sujets jeunes.

— Jusqu'ici je n'ai constaté aucun dégât de cet ordre dans la forêt de Saint-Prix.

19. ***Crypturgus cinereus*** HERBST et

20. ***Crypturgus pusillus*** GYLLENHAL

— Ces deux insectes n'ont aucune signification forestière car ils vivent dans les écorces mortes. Par ailleurs, ils utilisent les galeries d'autres espèces et ne causent par conséquent aucun dégât aux peuplements forestiers.

b) Biologie succincte des principales espèces

Ips typographus L.

Il s'agit d'une espèce primaire qui peut attaquer des Épicéas en parfaite santé apparente; j'ai observé, en effet, dans la plupart des parcelles de la forêt de Saint-Prix, des sujets tout à fait verts attaqués par *Ips typographus* L. et j'estime que ces attaques primaires sont dues à l'existence d'une surpopulation excessive (fig. 12).

En poursuivant mes recherches dans ce domaine, j'ai constaté qu'un certain déséquilibre physiologique rend l'Épicéa beaucoup plus propice à l'installation d'*Ips typographus* L.; il suffit d'ailleurs d'un déséquilibre physiologique si minime que le biotope conserve encore l'apparence d'un sujet vigoureux. Les mesures de la pression osmotique montrent par ailleurs que toutes les conditions défavorables aux arbres viennent accroître leur pouvoir attractif, et l'on s'explique ainsi que certains arbres de la lisière ou des places vides (places bostrychées) soient parmi les plus attaqués, car ils souffrent tout particulièrement des brusques variations climatiques.

Directement influencé par les conditions climatiques, l'essaimage est largement échelonné et se scinde même très souvent en plusieurs vols distincts qui se succèdent de la lisière à l'intérieur du peuplement, avec parfois un envol intermédiaire dans les trouées et les taches de soleil.

Malgré cet étalement général et d'importantes variations locales ou temporaires, *Ips typographus* L. se caractérise incontestablement comme un essaimant tardif; il exige, en effet, un temps chaud et ensoleillé (température 18 °C environ) et j'estime que l'extension et l'importance de l'essaimage dépendent dans une large mesure de la température des jours précédents. C'est ainsi qu'en mai, et même en juillet, l'envol interrompu par une pluie de quelques heures n'a repris que quarante-huit à soixante-quatre heures plus tard aux endroits les mieux exposés. J'ai observé également qu'un refraîchissement passager a pu prolonger de quatre à six jours la durée de l'essaimage en cours. Enfin, bien que l'on enregistre généralement le maximum de sorties au moment de la plus forte chaleur, c'est-à-dire à 14 heures, l'envol dépend encore dans une large mesure du minimum thermique nocturne.

Ainsi par exemple, lorsque la température descend jusqu'à 6 °C au cours de la nuit, l'essaimage ne commence jamais avant 15 heures, même si le seuil normal de 16 à 19 °C se trouve atteint dès 14 heures.

Un exemple chiffré permet d'illustrer avec précision l'importance des variations de température et de luminosité enregistrées le 20 mai 1960 dans la parcelle 74.

	A L'INTÉRIEUR DU PEUPLEMENT	DANS UNE TACHE BOSTRYCHÉE
TEMPÉRATURE :		
Température ambiante	11,5 °C	16,5 °C
Température en plein soleil		26,5 °C
Mousse à 1-2 cm	12,3 °C	17,25 °C
Sol à 10 cm	10 °C	10,75 °C
Température d'un Épicéa entre écorce et aubier :		
Face ensoleillée	11,25 °C	13,25 °C
Face non ensoleillée	8,75 °C	10,6 °C
LUMINOSITÉ :		
Luminosité ambiante	1 400 lux	7 000 lux
Luminosité en pleine trouée		45 000 lux
Ensoleillement de l'écorce d'un Épicéa :		
Face ensoleillée	2 411 lux	
Face non ensoleillée	2 000 lux	
	Pas d'essaimage	Essaimage partiel

Dans ces conditions, l'essaimage n'a pu avoir lieu qu'aux endroits les mieux exposés, aux heures les plus chaudes de la journée, c'est-à-dire vers 15 heures. Il ne s'agissait d'ailleurs que d'un envol partiel car la température relativement fraîche dans l'ensemble ralentissait sensiblement les sorties.

De nombreuses observations sur le terrain m'ont démontré qu'on ne peut pas séparer l'action calorifique du soleil de son action lumineuse et j'ai pu prouver expérimentalement que l'ensoleillement accélère l'envol des *Scolytidae*. En conséquence, l'essaimage dépend donc indirectement de l'exposition, de l'altitude, de la densité du peuplement et plus généralement de tous les facteurs susceptibles de modifier le climat local et le microclimat.

En ce qui concerne l'évolution d'*Ips typographus*, je rappellerai simplement qu'il s'agit d'une espèce polygame, et que l'orifice d'entrée et la chambre d'accouplement sont préparés par le mâle qui s'accouple, au fur et à mesure de leur arrivée, avec une, deux ou parfois même trois femelles.

Dès qu'une femelle est fécondée, elle s'éloigne de la chambre d'accouplement en creusant dans le sens des fibres du bois un couloir de ponte individuel, où elle dépose ses œufs un à un dans des encoches disposées sur les deux bords de sa galerie. L'ensemble forme ainsi un système du type longitudinal double.

La répétition de l'accouplement est de règle chez *Ips typographus* L. et chaque femelle s'accouple plusieurs fois pour pondre un nombre d'œufs extrêmement variable, généralement compris entre 7 et 50.

La larve néonate ébauche à partir de l'encoche de ponte une galerie sinueuse qu'elle agrandit au fur et à mesure de son développement. Le couloir larvaire s'élargit progressivement jusqu'à son extrémité distale où il atteint 4 à 8 mm de diamètre au niveau du berceau de nymphose.

Comme pour les autres *Scolytidae*, l'évolution de *Ips typographus* L. se trouve dominée par les conditions climatiques, dont l'influence se fait sentir dès l'essaimage et se précise après la ponte. Le moindre refroidissement suffit en effet pour retarder l'évolution des larves et des nymphes, provoquant ainsi des décalages assez sensibles, comme le montrent quelques-unes des observations réalisées dans la forêt de Saint-Prix en 1960.

	I	II	III
	Premiers œufs : 18 mai Larves : 24 mai Nymphes : 26 juin	Premiers œufs : 25 avril Larves : 1er mai Nymphes : 6 juin	Premiers œufs : 25 mai Larves : 1er juin Nymphes : 10 juillet
soit au total...	37 jours	43 jours	46 jours

En pratique, la durée du cycle évolutif complet s'échelonne généralement entre quarante-deux et cinquante-cinq jours mais peut atteindre quatre-vingts jours et plus lorsque le froid vient ralentir la vie larvaire, la nymphose ou la nutrition des jeunes adultes (fig. 14).

Dans les conditions de la forêt de Saint-Prix, l'évolution de *Ips typographus* L. au cours de l'année 1960 peut se résumer comme suit :

— A. Essaimage : 15 *avril à fin mai.*

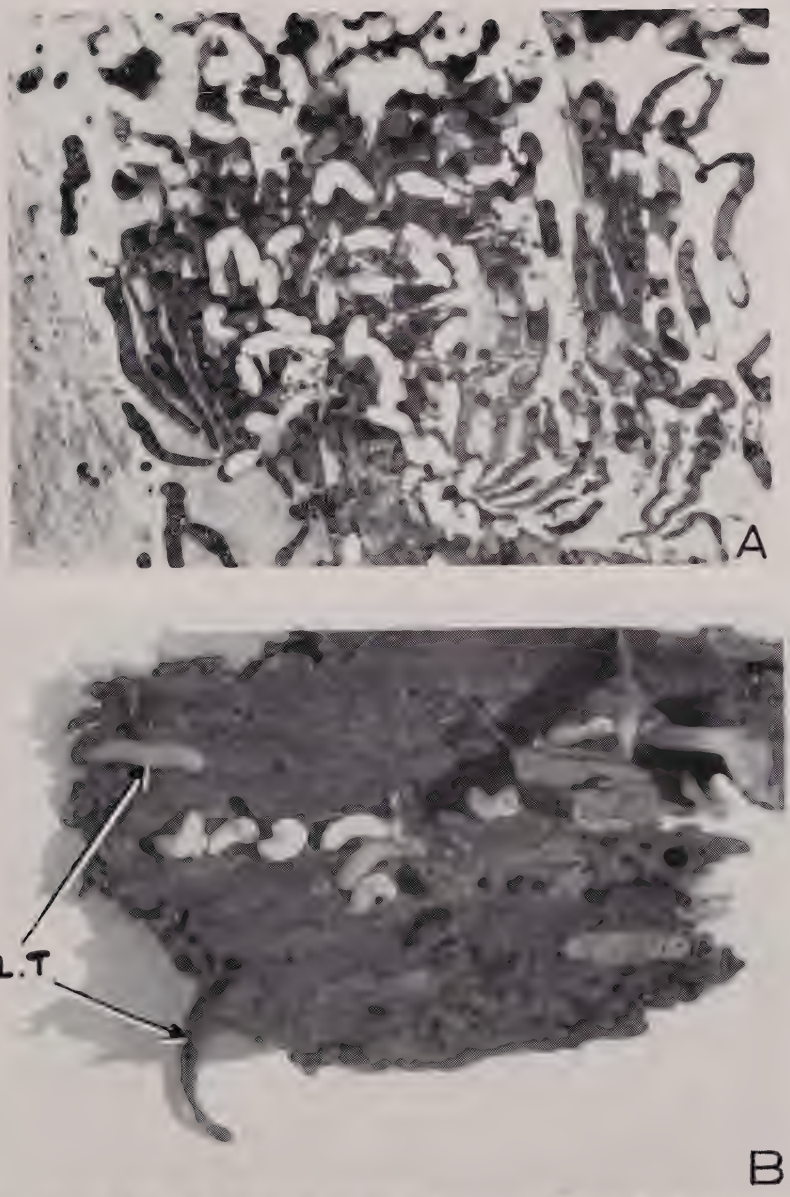


FIG. 17A et 17B : La figure A montre un ensemble de larves de *Dendroctonus micans* KUG. provenant d'un seul système ; il a été dénombré ainsi 180 larves dans une seule galerie familiale. En B, noter la présence de larves de *Thanasimus formicarius* L. (L.T.)

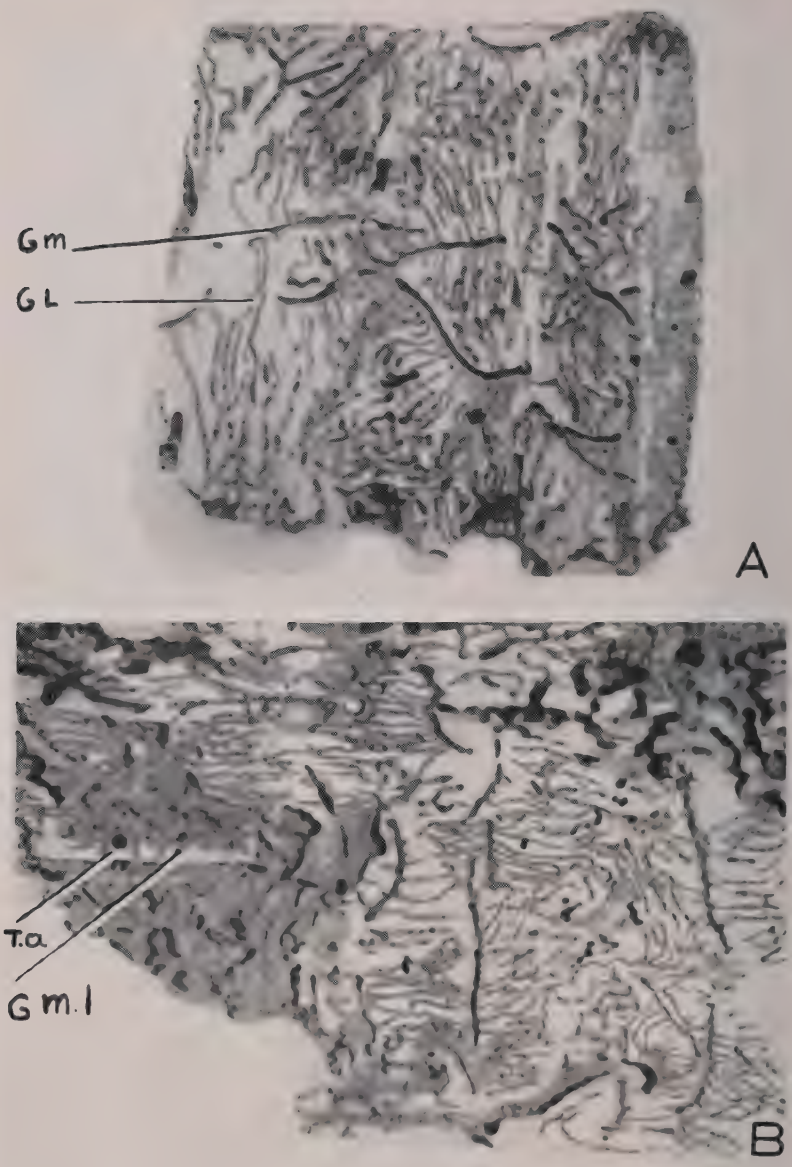


Fig. 18. — Galeries maternelles et larvaires de *Pityogenes chalcographus* L. en surpopulation. Noter la coexistence de *Pityogenes* et de *Ips typographus* L. sur un même sujet. Gm.l, galeries maternelles de *Ips typographus* L. ; Gm, galeries maternelles de *Pityogenes chalcographus* L. ; GL, galeries larvaires ; Ta, trou d'aération de *Ips typographus*.

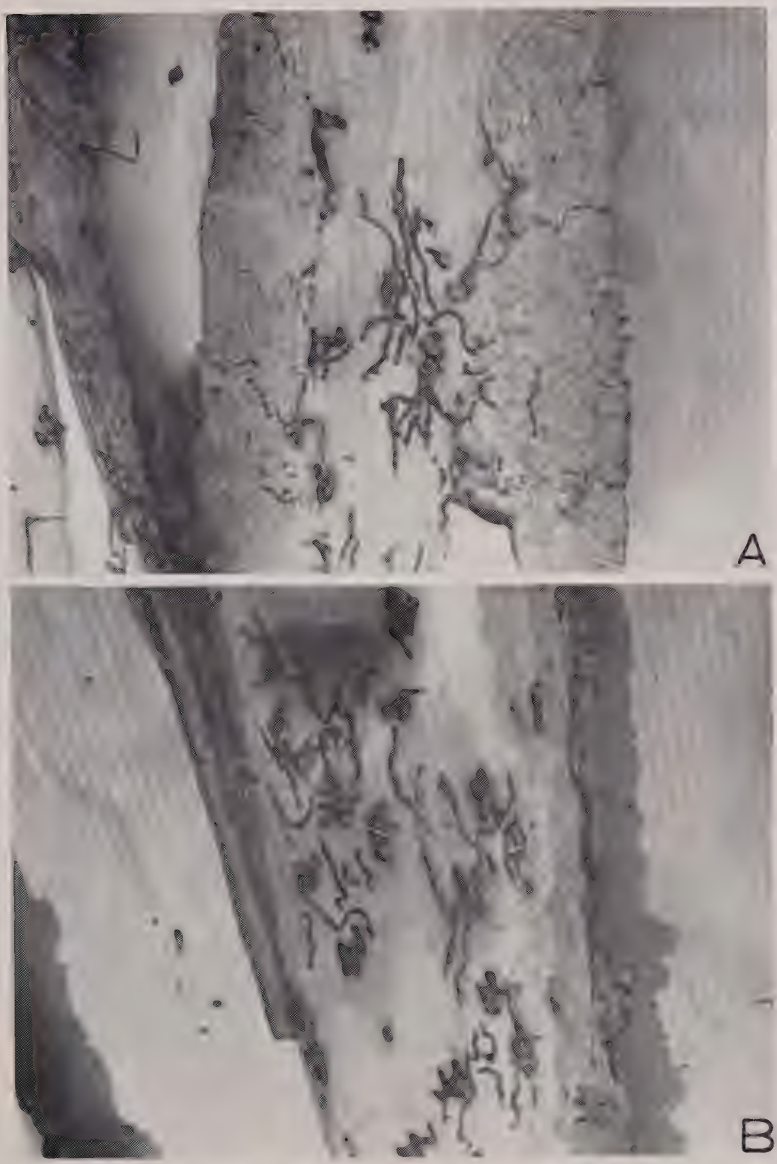


FIG. 19A et 19B. — Attaque de *Abies pectinata* par *Cryphalus piceae* RATZ. Sur la figure A, on distingue nettement les galeries larvaires sur la face interne de l'écorce; la figure B donne un exemple de surpopulation avec 15 systèmes de ponte pour une surface de 10 cm². Cependant, actuellement, cet insecte ne présente pas de danger pour la forêt de Saint-Prix car il reste très localisé.

FIG. 20 : Systèmes de galeries maternelles et larvaires de *Ips amitinus* EICH. Noter la densité d'occupation avec 6 systèmes sur un échantillon de 14 cm × 24 cm présentant une forte surpopulation : les insectes adultes immatures se trouvent au stade de la nutrition de maturation. Pour la forêt de Saint-Prix, cet insecte ne constitue pas un danger car il est très rare. Ces insectes ont été traités en même temps qu'*Ips typographus* L. car leur biologie est analogue.

— B. Évolution complète : *fin juin.*

— C. Sortie des jeunes adultes pour le 2e essaimage : 10 *juillet à fin juillet.*

— D. Génération sœur (issue d'une seconde ponte des adultes du premier essaimage) : *début juillet.*

— E. Évolution de la seconde génération et de la génération sœur : *août-septembre.*

— F. Seconde génération sœur : 15 *août-début septembre.*

Le nombre de générations annuelles reste très variable; en 1960, *Ips typographus* L. a pu développer deux générations, mais la seconde a été très ralentie par suite des conditions climatiques défavorables, et en forte régression par suite de la destruction massive de la première génération. Ainsi la lutte sévère mise en œuvre au mois de mai a permis une diminution très importante des populations, tout en évitant leur extension dans l'avenir,

La densité des larves d'*Ips typographus* sur les arbres attaqués est intéressante à considérer. Ainsi, dans la parcelle 74, j'ai dénombré sur un arbre très attaqué une population de 224 insectes occupant une surface de 30 cm × 10 cm, ce qui représente une moyenne de 7 466 insectes au mètre carré. Cet arbre mesurant 23 m de long avec une circonférence de 115 cm à la base et de 21 cm au sommet, sa surface dépasse 15 m² ce qui donne une population totale de plus de 110 000 insectes pour un seul arbre.

Dans la même parcelle, un autre Épicéa de dimensions analogues hébergeait près de 12 000 larves par mètre carré soit une population totale supérieure à 200 000 insectes.

Cependant, comme il s'agit dans les deux cas d'une surpopulation extrême, il faut admettre une réduction d'environ 50 000 insectes pour tenir compte d'une densité d'occupation toujours plus faible au sommet et sur la face du tronc tournée vers le sol, ce qui ramène respectivement le nombre des insectes à 62 000 pour le premier arbre et 152 000 pour le second. Compte tenu d'une mortalité de 14 % provoquée par la surpopulation et le parasitisme, on obtient finalement :

— dans le premier cas ..... 62 000 — 8 680 = **53 320**

— et dans le second cas ..... 152 000 — 21 280 = **130 720**

Sans tenir compte de ce dernier résultat qui constitue un cas véritablement exceptionnel, on doit estimer que les 1 200 Épicéas attaqués par *Ips typographus* L. en 1960 représentaient au minimum 64 millions d'insectes en évolution dans la forêt de Saint-Prix (fig. 15).

Cette estimation est très certainement inférieure à la réalité car FRANZ a dénombré 1 545 adultes en hibernation sur une superficie d'un mètre carré, ce qui donnerait déjà le nombre énorme de

15 450 000 insectes par hectare attaqué. Il ne s'agit d'ailleurs que de chiffres théoriques car la distribution des hibernants varie en fait selon l'exposition, et le microclimat exerce une influence considérable sur la répartition des insectes.

En présence d'une telle surpopulation, il fallait adopter d'urgence des mesures sévères pour enrayer l'extension et détruire massivement la première génération en cours d'évolution. La lutte entreprise a été couronnée de succès comme l'on peut en juger d'après les résultats observés lors de l'essaimage de cette première génération :

— Sur 45 Épicéas, 143 systèmes de ponte, soit 3 systèmes par Épicéa;

— Sur 43 Épicéas, 105 chambres d'accouplement;

— Sur 11 Épicéas, quelques plages d'hibernation;

— Enfin, 386 Épicéas n'ont pas été attaqués.

Ainsi, le taux initial des populations est ramené à un chiffre très bas et le danger de pullulation se trouve écarté, à la condition de prévoir pour l'avenir quelques mesures préventives. Le seul danger réside dans l'état des peuplements voisins car s'il existe encore à proximité des arbres attaqués par *Ips typographus* L., les insectes qui essaimeront au printemps prochain pourront envahir à nouveau la forêt de Saint-Prix pour donner naissance, en l'espace de quelques mois, à une surpopulation redoutable.

De façon générale, et selon les conditions propres à chaque peuplement, *Ips typographus* L. peut provoquer quatre types de dégâts :

— Les *dégâts directs*, impliquant la destruction de l'arbre par les insectes eux-mêmes;

— Les *dégâts indirects* qui diminuent la résistance des peuplements; citons essentiellement la création de trouées, où le vent a ensuite toute facilité pour casser et déraciner les arbres, et multiplier ainsi les biotopes propices à l'extension des insectes;

— Les *dégâts secondaires*, c'est-à-dire l'installation de l'espèce sur des sujets cachectiques, déracinés ou dominés;

— Enfin, *les dégâts primaires* sur des arbres vigoureux, en l'absence de biotopes souffreteux ou en cas de surpopulation importante.

En raison de la fréquence et de la très vaste extension de l'espèce dans la forêt de Saint-Prix, ces quatre types d'attaque se combinent pour provoquer des dommages considérables qui justifient la lutte énergique réalisée en 1960 et des mesures systématiques d'entretien pour l'avenir.

— ***Dendroctonus micans*** KUG.

C'est en avril 1959 que j'ai trouvé pour la première fois cet insecte dans la forêt de Saint-Prix. Il s'agit d'une espèce primaire, dont l'évo-

lution s'effectue essentiellement aux dépens de *Picea excelsa*. Cette espèce ne se rencontre guère que sur des arbres âgés de quarante à cent ans ou plus, et choisit très souvent les sujets blessés lors de l'exploitation des arbres voisins. Sa présence se trahit généralement à l'extérieur par d'importantes sécrétions résineuses mêlées de débris de sciure rejetés hors des galeries. Ce sont ces formations résineuses qui font déceler la présence de *Dendroctonus* sur les arbres vigoureux dont l'aspect tout à fait sain ne laisse pas encore deviner leur attaque. Mais en épuisant le biotope, de telles sécrétions aggravent son déséquilibre physiologique jusqu'à autoriser l'installation massive d'autres espèces.

Dendroctonus micans KUG. se classe parmi les insectes tardifs car il essaime généralement dans le courant du mois de mai et parfois même au début juin; c'est ce qui explique que j'ai pu trouver dans les derniers jours d'avril 1959 des individus encore en pleine hibernation. Dans les conditions de Saint-Prix, l'envol doit commencer normalement entre le 15 et le 25 mai.

Les larves vivent en famille dans une chambre commune et, l'évolution terminée, les adultes s'accouplent sur place avant de quitter leur biotope de naissance pour pondre sur un nouvel hôte. La femelle creuse dans l'épaisseur de l'écorce, sur une longueur de 6 à 15 cm, un ou plusieurs couloirs irréguliers où elle dépose en tas un nombre d'œufs qui varie de 30 à 150.

Dès leur éclosion, les jeunes larves rongent les fibres ligneuses pour donner finalement un système en forme de poche.

Si les conditions s'avèrent favorables, les larves issues de la ponte du printemps (mai) se nymphosent fin juillet-début août, et les adultes apparaissent au mois de septembre.

De façon générale, on peut trouver tous les stades en hibernation selon qu'il s'agit de pontes printanières (mai-juin) ou estivales (août).

En 1960, par suite des conditions climatiques défavorables, *Dendroctonus micans* KUG. n'a pu développer qu'une seule génération à Saint-Prix.

En ce qui concerne son importance économique, je dois attirer l'attention des autorités forestières, car il s'agit d'une expèce extrêmement dangereuse qui peut attaquer les Épicéas en parfaite santé.

— ***Pityogenes chalcographus*** L.

Très commune dans toutes les parcelles de la forêt de Saint-Prix, cette espèce nidifie de préférence dans les branches ou au sommet des Épicéas.

L'espèce est polygame et la galerie maternelle débute par une chambre d'accouplement pratiquée par l'insecte mâle; fines et sinueuses, les galeries maternelles au nombre de 2 à 7 se détachent de la chambre d'accouplement pour former un système de ponte étoilé.

En ce qui concerne l'évolution de cette espèce dans la forêt de Saint-Prix, il convient de signaler qu'en 1960 l'essaimage a commencé en mai; l'évolution complète s'est terminée fin juin, de telle sorte qu'un

second essaimage, d'ailleurs beaucoup moins important que le premier, a pu avoir lieu en juillet.

Généralement considéré comme un insecte secondaire, *Pityogenes chalcographus* L. peut cependant favoriser l'installation d'autres espèces en provoquant de graves dégâts sur les branches. En raison de sa pullulation fréquente et rapide, cet insecte ne doit pas être négligé et il faut surveiller son extension pour éviter tout risque de surpopulation.

— ***Polygraphus poligraphus*** L.

Cette espèce est bien répandue dans la forêt de Saint-Prix où elle vit en général aux dépens de l'Épicéa, en se localisant, soit au sommet du tronc, soit sur les branches.

En 1960, l'essaimage de printemps a eu lieu le 17 mai aux endroits ensoleillés, c'est-à-dire par une température ambiante de 18 °C environ.

Il s'agit d'une espèce polygame qui pratique des galeries en étoile. Le mâle pénètre le premier dans l'écorce et prépare la chambre d'accouplement où les femelles seront fécondées tour à tour. Chaque femelle pond ensuite ses œufs un à un dans des encoches disposées sur les deux bords de la galerie maternelle. Au cours de leur évolution, les larves creusent des galeries sinueuses, et la nymphose a lieu dans une excavation terminale où la nymphe reste immobile pendant neuf jours environ.

Dans la forêt de Saint-Prix, cette espèce a eu une génération complète, avec ébauche d'une seconde génération qui a hiberné à l'état larvaire.

Cet insecte ne provoque pas de graves dégâts dans la forêt de Saint-Prix, mais des mesures préventives doivent être prises pour éviter toute augmentation de population qui entraînerait des dégâts du type primaire.

— ***Xyloterus lineatus*** OL.

Cette espèce est très commune dans la forêt de Saint-Prix, mais il convient de signaler que l'insecte recherche les troncs abattus non écorcés ou les arbres morts sur pied. Les bois abattus du début mars à fin juin sont ainsi préservés de toute attaque, car ils sont encore trop frais. Il suffit d'ailleurs d'écorcer immédiatement les arbres abattus pour réduire sensiblement les attaques de *Xyloterus lineatus* OL. dont l'extension se trouve favorisée par les dépôts de bois.

Il s'agit d'un insecte à essaimage précoce, mais il exige cependant une chaleur ambiante de 13 à 14 °C qui constitue le seuil thermique nécessaire pour l'essaimage de l'espèce.

L'insecte nidifie de préférence sur les deux faces latérales des troncs abattus, où il creuse des galeries pénétrantes, dont la profondeur peut atteindre 3 à 5 cm. Les galeries larvaires sont bifurcantes à échelons, et les larves se nourrissent du mycélium d'*Ambrosia*. Conditionnant le rythme de multiplication de l'espèce au cours de l'année, la durée d'évolution dépend à la fois de la date d'essaimage et des conditions climatiques.

Dans la forêt de Saint-Prix, l'envol ayant eu lieu le 17 mai, la première génération a terminé son évolution fin juillet. En ce qui concerne l'importance économique de cette espèce, je souligne qu'il n'y a aucun danger pour la forêt de Saint-Prix; les dégâts sont d'ailleurs d'ordre purement technique.

— ***Cryphalus piceae*** RATZ. et

— ***Cryphalus abietis*** RATZ.

Il s'agit d'espèces spécifiques de l'écorce fine des branches et du tronc de *Picea excelsa* et d'*Abies pectinata*, mais ces deux insectes ne sont pas très communs dans la forêt de Saint-Prix.

Chez les deux espèces, la femelle s'accouple à la surface de l'écorce avant de pratiquer une galerie en forme de chambre d'accouplement où elle pond en tas tous ses œufs, dont le nombre est généralement compris entre 12 et 35.

De cette galerie maternelle partent toutes les galeries larvaires assez courtes (1 à 4 cm environ) et sinueuses qui marquent une nette tendance à s'orienter parallèlement aux fibres ligneuses.

En ce qui concerne l'évolution dans la forêt de Saint-Prix, je n'ai observé en 1960 qu'une seule génération complète; la seconde génération était déjà en hibernation au stade larvaire en septembre.

Actuellement, ces insectes ne sont pas dangereux pour la forêt de Saint-Prix, mais ils doivent cependant faire l'objet d'une surveillance car ils peuvent attaquer les branches des arbres vigoureux qu'ils prédisposent ainsi à une attaque plus grave par d'autres espèces.

— ***Ips sexdentatus*** BOERN.

Cet insecte est très rare dans la forêt domaniale de Saint-Prix où je n'ai dénombré que 6 Épicéas faiblement attaqués; par contre, j'ai découvert des attaques massives sur *Pinus* dans un peuplement limitrophe appartenant au marquis de La Guiche.

Il s'agit d'une espèce nettement primaire qui s'attaque aux arbres tout à fait sains.

La galerie maternelle est composée d'une chambre d'accouplement pratiquée par l'insecte mâle, et de 3 ou 4 bras longitudinaux mesurant en moyenne 20 à 40 cm de long.

L'insecte essaime en même temps que *Ips typographus* L. et j'ai observé en 1960 l'évolution d'une génération complète, avec début d'une seconde génération. L'insecte ne présente actuellement aucun danger pour la forêt de Saint-Prix, mais une surveillance constante est nécessaire car une surpopulation provoquerait rapidement des dégâts importants.

— ***Ips amitinus*** EICHH.

Espèce très rare dans la forêt de Saint-Prix; sur plus de 1 500 arbres occupés par *Ips typographus* L., je n'ai découvert que 3 cas d'attaque par *Ips amitinus* EICHH. Système en étoile à 3 ou 4 bras.

En ce qui concerne la lutte, l'insecte ne nécessite aucune mesure particulière car il se trouve éliminé en même temps que *Ips typographus*, L.

II. LUTTE CONTRE LES *SCOLYTIDAE* DE LA FORÊT DE SAINT-PRIX

Dès mon arrivée dans la forêt de Saint-Prix, j'ai pu constater que la gravité de la situation tenait essentiellement à la surpopulation des *Scolytidae*.

Il convenait donc avant tout de diminuer rapidement la surpopulation et de prendre des mesures pour anéantir le maximum de *Scolytidae* car les insectes qui échappent à la lutte constituent un danger pour les arbres sains des parcelles avoisinantes.

Pour avoir des résultats efficaces, j'ai donc adopté et fait exécuter par le personnel forestier local les diverses mesures suivantes :

1. Éliminer tous les arbres debout attaqués par *Ips typographus* L., *Dendroctonus micans* KUG. ou toute autre espèce.
2. Déceler le plus rapidement possible les arbres récemment attaqués;
3. Écorcer et traiter aussitôt, à l'aide de produits insecticides actifs, tous les arbres envahis par les *Scolytidae*.
4. Préparer des arbres-pièges en nombre suffisant pour attirer les populations ayant déjà quitté leur biotope de naissance.
5. Incinérer, toutes les fois que les conditions climatiques le permettent, les branches qui risquent de préparer une attaque massive de *Pityogenes chalcographus* L.

Il faut toutefois signaler que l'élimination des arbres attaqués sur pied est souvent très délicate en pratique, tout au moins dans la forêt de Saint-Prix où, de mai à septembre, les Épicéas occupés par *Ips typographus* L. ne révélaient pour la plupart aucun signe extérieur de déséquilibre physiologique. J'ai remarqué en particulier que des arbres attaqués dans la région sommitale conservaient toutes leurs aiguilles vertes et j'ai même trouvé des Épicéas, apparemment sains, déjà abandonnés par les *Scolytidae* de la première génération.

Ce phénomène paradoxal s'explique aisément par une étude plus poussée de la physiologie de la plante-hôte. En effet, j'ai déjà montré dans des travaux antérieurs qu'en cas d'attaque partielle on enregistre seulement un déséquilibre physiologique localisé au niveau de la zone attaquée, tandis que l'arbre conserve dans l'ensemble toutes les propriétés physico-chimiques des sujets sains.

C'est pourquoi la mesure de la pression osmotique corticale constitue un critère sûr de la vitalité des Épicéas; mais il s'agit d'un critère trop théorique pour les forestiers qui n'ont ni les moyens, ni les appareils.

ni les connaissances nécessaires pour pouvoir l'utiliser. Dans ces conditions, je me suis borné à préciser un ensemble de moyens empiriques, dont l'application soigneuse doit permettre de déceler la plupart des arbres attaqués sur pied, qui constituent de redoutables foyers d'extension. En pratique, il faut :

— Observer les arbres suspects;

— Rechercher sur le sol, au pied des arbres douteux, des débris de sciure ou des aiguilles sèches;

— Surveiller les arbres situés en lisière, surtout du côté exposé au soleil;

— Enfin vérifier s'il existe sur le tronc, et plus particulièrement vers le sommet, des zones où l'écorce se détache en plaques.

Il faut prévoir, d'autre part, qu'une certaine fraction des populations parvient toujours à échapper aux prospections les plus attentives. Pour faire face à cette éventualité, j'ai fait abattre des arbres-pièges destinés à attirer les *Scolytidae* encore en évolution et qui permettent ainsi de détruire la quasi-totalité des insectes.

En pratique, les arbres-pièges préparés pour le premier essaimage de mai ont attiré des populations extrêmement denses qui ont été traitées comme nous le verrons plus loin, lorsqu'elles se trouvaient au 4e stade larvaire ou au stade nymphal. Par contre, les arbres-pièges abattus entre le 10 et le 25 juin, en vue du second essaimage de juillet-août, n'ont pratiquement pas été attaqués en raison des conditions climatiques défavorables, mais surtout de la réduction notable des populations.

Enfin, les arbres attaqués sur pied ont pu être reconnus à temps et les derniers ont été abattus et traités fin juillet, ce qui a permis d'éviter un second essaimage massif de *Ips typographus* L. et l'évolution d'une nouvelle génération. Si ces mesures sont appliquées régulièrement dans l'avenir, je puis affirmer que la forêt domaniale de Saint-Prix ne sera plus jamais envahie par les *Scolytidae*, à moins d'une nouvelle contamination d'origine extérieure.

En ce qui concerne *Dendroctonus micans* KUG., cet insecte ne s'installe, pour l'instant, que sur les arbres blessés ou sur les sujets qui se trouvent au voisinage immédiat des parcelles attaquées. Je me suis cependant inquiété d'organiser la lutte contre *Dendroctonus micans* KUG. car il s'agit d'une espèce primaire susceptible de devenir, en cas de surpopulation, aussi dévastatrice que les représentants américains du genre *Dendroctonus*, dont les dégâts se chiffrent annuellement par plusieurs milliers de mètres cubes. Pour en limiter dès maintenant l'extension, j'ai fait abattre systématiquement, avec l'accord de M. l'ingénieur MAZET, tous les arbres occupés par *Dendroctonus micans* KUG.; dans les cas les plus favorables, les zones attaquées ont seules été traitées et l'arbre a été utilisé comme arbre-piège pour *Ips typographus* L. En

pratique, ce procédé donne des résultats très satisfaisants, tout en évitant l'abattage d'arbres sains qui peuvent ainsi poursuivre leur croissance jusqu'à l'âge d'exploitation normal.

De même que *Dendroctonus micans* KUG., *Pityogenes chalcographus* L. risque de devenir très dangereux lorsqu'il se trouve en superpopulation, mais cet insecte préfère les écorces fines et nidifie surtout dans les branches, ce qui permet d'éviter sa multiplication par de simples mesures d'hygiène. C'est ainsi que par incinération systématique des branches et des débris d'exploitation, on oblige *Pityogenes chalcographus* L. à s'installer dans la région sommitale des arbres-pièges. Ceci facilite notablement les opérations de lutte, car sur un seul et même arbre on peut ainsi traiter simultanément *Ips typographus* L. et *Pityogenes chalcographus* L.

Par contre, en raison de leurs caractéristiques biologiques différentes, il convient de distinguer les *Scolytidae* nidifiant dans l'écorce, des espèces qui pénètrent dans la profondeur du bois.

1. Lutte contre les *Scolytidae* de l'écorce

Pour diminuer les populations de *Scolytidae*, il faut utiliser des méthodes biologiques basées sur le comportement des insectes, en vue de les attirer sur certains sujets où ils pourront être détruits massivement par des insecticides.

A. Préparation des arbres-pièges

Sur ce point, j'ai déjà exposé dans un précédent travail (C. CHARARAS, Compte rendu à l'Académie des sciences) comment on peut localiser les *Scolytidae* sur des biotopes qui leur sont particulièrement favorables.

Particularités physiologiques des arbres-pièges.

Les arbres réceptifs, ou arbres-pièges, peuvent être des arbres sur pied, préparés dès la fin de l'automne ou au début du printemps en pratiquant au niveau de l'aubier une annélation circulaire, profonde d'environ 6 cm qui réduit considérablement la montée de la sève. L'apport d'eau devient alors insuffisant, la concentration du liquide cellulaire augmente et l'on enregistre une élévation de la pression osmotique au niveau des aiguilles, dont la fanaison traduit à l'extérieur le déséquilibre physiologique de l'arbre. Les aiguilles ainsi lésées n'assurant plus leur fonction d'assimilation, l'arbre se voit privé des substances nutritives indispensables, ce qui détermine une baisse rapide de la pression osmotique corticale autorisant l'installation massive des *Scolytidae*.

Les arbres réceptifs peuvent être également des sujets récemment abattus, dont le rôle varie sensiblement selon qu'ils sont ou non ébran-

chés. Lorsque ces arbres-pièges restent non ébranchés en plein soleil, l'assimilation se poursuit un certain temps, ce qui provoque une augmentation de la pression osmotique de l'écorce. Dans ces conditions, de tels arbres-pièges ne sont jamais propres à la ponte avant que la fanaison des aiguilles, l'insuffisance des apports nutritifs et l'eau d'imbibition ne déterminent finalement un affaiblissement critique, marqué par une diminution de la pression osmotique. Pour augmenter la réceptivité des arbres-pièges, il faut donc éviter de les installer dans des endroits directement exposés au soleil, dont l'action desséchante perturbe la circulation de la sève et entraîne une élévation de la pression osmotique corticale.

Il est indispensable qu'un arbre-piège ait conservé au moment de l'essaimage toutes les propriétés caractéristiques des sujets sains et en particulier, une pression osmotique encore voisine de la normale, ce qui favorise l'installation des espèces primaires. Au contraire, pour les espèces secondaires telles que *Dryocoetes autographus* RATZ., *Dryocoetes hectographus* REIT., *Hylurgops palliatus* GYLL. et *Hylurgops glabratus* ZETT., l'arbre doit se trouver dans un état de déficience physiologique totale: en pratique, ce peut être un sujet déjà mort, ou même de simples branches abandonnées sur le sol et imprégnées d'humidité.

J'ai signalé par ailleurs (C. CHARARAS, Compte rendu à l'Académie des sciences) d'importantes modifications du taux des glucides solubles selon qu'il s'agit d'Épicéas tout à fait sains, de sujets attaqués par les espèces primaires, ou d'arbres hébergeant des espèces secondaires. C'est ainsi que l'analyse chimique a fait apparaître chez un Épicéa très vigoureux (pression osmotique de 9,27 atm. avec 20 % de matières sèches) 6,3 g pour 100 cm³ de sucres réducteurs exprimés en glucose: par contre, sur un Épicéa attaqué par une espèce secondaire, j'ai observé une très basse pression osmotique de 2,41 atm. avec 2 % de matières sèches, 0,52 g de sucres réducteurs et des traces indosables de sucres non réducteurs. En pratique, j'ai tenu compte de ces particularités physiologiques pour mettre au point une préparation scientifique des arbres-pièges qui leur assure le maximum d'efficacité.

Époque d'abattage des arbres-pièges.

Nous avons vu que l'installation des *Scolytidae* est en relation étroite avec la vitalité des différents sujets, dont l'état physiologique conditionne dans une large mesure leur pouvoir attractif à l'égard des insectes.

En conséquence, l'abattage des arbres-pièges doit être calculé en fonction des caractéristiques biologiques des *Scolytidae* que l'on veut attirer, car les espèces hâtives (type *Blastophagus piniperda* L. ou *Blastophagus minor* HART.) peuvent essaimer à une température moyenne de 12 à 14 °C, c'est-à-dire dès le mois de mars, alors que les espèces tardives comme *Ips typographus* L. et *Dendroctonus micans* KUG. exigent une température moyenne de 16 à 18 °C.

FIG. 21A et 21B : Incinération des branches provenant d'arbres-pièges, afin de détruire la surpopulation de *Pityogenes chalcographus* L. Dans certains endroits, le feu a élevé la température corticale des Épicéas riverains du voisinage jusqu'à 52 °C, ce qui a provoqué un déséquilibre physiologique et une chute de la pression osmotique, prédisposant ces arbres aux attaques des *Scolytidae*. C'est pourquoi je propose que l'incinération ait lieu à une distance d'au moins 7 m de tout autre arbre.

Avant toute autre mesure, il faut donc inspecter les peuplements parcelle par parcelle, pour déceler les différentes espèces en évolution et établir sur cette base un programme précis de mise en place des arbres-pièges. Des nombreux *Scolytidae* signalés dans la forêt de Saint-Prix, *Ips typographus* L. et *Dendroctonus micans* KUG. sont de loin les espèces les plus dangereuses, car *Polygraphus poligraphus* L., *Cryphalus piceae* RATZ., *Ips amitinus* EICHH. et même *Pityogenes chalcogaphus* L. restent actuellement négligeables. Enfin, je ne parlerai pas ici des insectes tout à fait secondaire, tels que les *Hylurgops*, les *Dryocoetes* et les *Hylastes* dont l'importance économique est nulle puisqu'ils s'attaquent exclusivement aux vieilles souches ou aux arbres morts.

Pour lutter contre *Ips* et *Dendroctonus*, il convient de mettre en place des arbres-pièges ébranchés dès les premiers jours de février, afin que tout soit prêt pour la première semaine de mars. Si des conditions climatiques défavorables, et tout spécialement la neige, obligent à retarder ce programme, l'opération sera ensuite accélérée pour se terminer au plus tard fin mars; à cette date, en effet, les insectes hâtifs commencent à s'envoler et doivent trouver toute une gamme d'arbres propices à leur installation.

Ces arbres-pièges sont normalement destinés à attirer les insectes lors du premier essaimage, qui se produit en mai chez les espèces tardives; mais leur réceptivité subsiste en fait jusqu'au mois de juin et quelquefois même au-delà. Cependant, ils n'exercent plus aucune action lors du second essaimage, surtout s'ils restent exposés à un ensoleillement direct, car l'écorce trop desséchée n'offre plus aux *Scolytidae* primaires les propriétés requises pour leur nidification.

Pour attirer en juillet-août les essaimants de la seconde génération, il convient donc de prévoir de nouveaux arbres-pièges à partir de juin, de les ébrancher aussitôt, de les disposer à l'ombre des peuplements et enfin de surveiller soigneusement l'importance et l'extension des populations ainsi que l'évolution des insectes.

Il arrive parfois que certains arbres-pièges destinés à attirer les populations du premier essaimage ne soient que très peu attaqués; mais il ne faut en aucun cas les garder pour le second essaimage, car en permettant aux insectes de s'y développer jusqu'à l'envol d'une nouvelle génération, on ferait de ces arbres autant de foyers de contamination ultérieure pour les sujets sains du voisinage.

D'après les données météorologiques des quinze dernières années, la forêt de Saint-Prix ne semble pas être exposée aux risques d'un troisième et d'un quatrième essaimages, qui sont au contraire fréquents dans la région méditerranéenne. Toutefois, au cours des étés chauds et secs, il est prudent de préparer quelques arbres-pièges à toutes fins utiles. Cette mesure est facile à réaliser car le Service forestier peut exploiter des sujets visiblement dominés ou souffreteux, les utiliser

comme arbres-pièges durant l'automne et les vendre ensuite normalement en octobre-novembre.

Mesures d'entretien.

En 1960, la lutte acharnée poursuivie sans interruption de mai à septembre a permis d'éliminer en majeure partie les *Scolytidae* de la forêt domaniale de Saint-Prix. J'ai prévu cependant un nombre relativement important d'arbres-pièges pour l'année 1961, car au mois de juillet 1960 j'ai trouvé dans un peuplement privé appartenant au marquis de La Guiche 118 arbres sur pied envahis par les *Scolytidae* et non traités, sans compter de nombreux sujets exploités depuis plusieurs mois, mais non écorcés. Cette forêt jouxtant immédiatement les peuplements domaniaux, il y a tout lieu de craindre, si la situation reste inchangée, que les nombreux foyers en évolution dans la propriété du marquis de La Guiche ne s'étendent rapidement pour envahir à nouveau la forêt de Saint-Prix.

C'est pourquoi il est nécessaire d'entretenir trois arbres-pièges par hectare dans les parcelles les plus attaquées, c'est-à-dire les parcelles 2, 5, 6, 8, 9, 11, 15, 16 en première série, et 10, 12, 29, 37, 49, 50, 55, 56, 57, 60, 61, 62, 63 et 74 en deuxième série; en l'état actuel, on peut se contenter de deux pièges à l'hectare pour chacune des parcelles n° 1, 4, 21, 22, 23, 25, 27, 33, 34, 35 de la première série et n° 38, 40, 41, 48, 64, 65, 67, 72, 73, 76 et 81 de la deuxième série, car il s'agit de parcelles moins atteintes ou moins exposées.

Les parcelles très attaquées doivent être particulièrement surveillées en raison des trouées qui résultent de l'exploitation des arbres parasités. En s'élargissant rapidement au fur et à mesure de l'extension des attaques, ces trouées donnent prise au vent dont l'action mécanique est responsable des arbres déracinés et des chablis toujours très propices à l'installation des *Scolytidae*.

Je signalerai pour terminer que les parcelles 3, 7, 13, 14, 17, 18, 19, 20, 24, 28, 30, 31, 32, 36, 39, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 51, 52, 53, 58, 70, 71, 75, 77, 78, 79, 80, 83, 84, 86, 87, 88, 91 et 92 ne sont actuellement pas attaquées; il s'agit, en effet, soit de sujets très jeunes (10 à 20 ans),

---

Légende de la planche

Fig. 22A : Parcelle 74 de la forêt de Saint-Prix (Épicéas purs) où j'ai effectué des recherches afin de détruire *Dentroctonus micans* Kug. avec des produits agissant comme systémiques. Noter les 4 zones d'expérimentation (Z).

Fig. 22B : Peuplement pur d'Épicéa de la forêt de Saint-Prix, attaqué par les *Scolytidae*. Noter en lisière de ce peuplement la présence d'arbres déracinés qui ont provoqué en mai 1960 une surpopulation de *Scolytidae*. Noter également les variations de la pression osmotique des arbres déracinés (6,3 atm.) et des arbres debout (7,9 atm.). La surpopulation des *Scolytidae* a été détruite par un traitement énergique et les arbres avoisinants n'ont pas été attaqués.

P.O 7,9 atm. P.O 6,3 atm.

soit de peuplements mixtes où les Épicéas se trouvent mélangés avec des *Abies* ou même des feuillus. Ces parcelles doivent cependant faire l'objet d'une surveillance à titre préventif, afin d'éviter tout risque de contamination ultérieure.

B. Traitement chimique des arbres-pièges

Les arbres-pièges ont pour objet d'attirer au maximum les populations de *Scolytidae* en vue de leur destruction massive; après l'abattage, il faut donc suivre l'évolution pour interrompre en temps opportun le développement de la nouvelle génération qui, si elle parvenait à essaimer, s'attaquerait aux sujets sains du voisinage.

Pour que les arbres-pièges puissent remplir exactement leur rôle, sans se transformer en foyers d'extension, il est donc essentiel de prévoir et d'organiser leur surveillance constante et systématique dès le mois de mai. On peut ainsi traiter les insectes par des produits toxiques dans les conditions les plus favorables.

De façon générale, la lutte chimique contre les insectes est très au point et il existe actuellement de nombreux produits très actifs, mais la plupart n'ont jamais encore été utilisés pour la protection des peuplements forestiers; c'est pourquoi, avant toute chose, j'ai testé expérimentalement les insecticides les plus puissants pour préciser leur efficacité à l'égard des *Scolytidae*.

Les principales caractéristiques des produits expérimentés se trouvent résumées dans le tableau ci-dessous (*).

DÉSIGNATION COMMERCIALE	PRÉSENTATION	FABRICANT	COMPOSITION CHIMIQUE
Didigam 10	poudre	S.O.P.R.A.	5 % DDT et 0,5 % lindane
Didigam 55	liquide	S.O.P.R.A.	20 % DDT et 3,5 % lindane
Didigam 85	poudre pour bouillie	S.O.P.R.A.	30 % DDT et 5,5 % lindane
Dieldrex CE 20	liquide	Saint-Gobain	20 % diéldrine
Hexafor	poudre	Péchiney-Progil	50 % H-C-H (hexachloro-cyclo-hexane)
Hexalo	poudre mouillable	Péchiney-Progil	12 % H-C-H
Héxamul	liquide	Péchiney-Progil	135 g/l. d'isomère γ du H-C-H
Hexapoudre	poudre	Péchiney-Progil	25 % H-C-H
Gamma Cereclor	poudre mouillable	S.O.P.R.A.	25 % de lindane
Phosdrine	liquide	Saint-Gobain	(produit nouveau)
Soprocide	liquide	S.O.P.R.A.	135 g/l d'isomère γ du H-C-H

En pratique, chacun de ces produits a fait l'objet de nombreux tests qui forment deux séries d'expériences bien distinctes

a) *Application des insecticides sur la face externe de l'écorce.*

Dans l'expérience-type, un arbre-piège a été divisé en neuf zones d'importance sensiblement égale, qui ont été traitées par pulvérisations

(*) Je tiens cependant à adresser tous mes remerciements aux services techniques des diverses firmes françaises de produits chimiques, qui ont bien voulu me remettre gracieusement des quantités importantes de leurs meilleurs insecticides.

de Dieldrex à forte concentration (600 cm³ pour 20 l d'eau); les quantités de solution utilisées (160 , 320, 640, 960, 1 600, 2 400, 3 200 et 4 800 cm³) ont été calculées de façon à donner des doses croissantes d'insecticide jusqu'à la dernière zone qui a reçu pour sa part le produit tout à fait pur.

Au bout de quatre jours, j'ai constaté que le Dieldrex concentré était efficace dans tous les cas, mais ne tuait en réalité que les adultes car il s'infiltre dans la galerie maternelle par le trou d'entrée sans pénétrer dans l'épaisseur de l'écorce où les larves restent hors d'atteinte. Même à fortes doses, le Dieldrex ne donne donc de résultats intéressants que si les insectes se trouvent en contact direct avec le produit; de plus, cet insecticide a le très grave inconvénient d'être extrêmement toxique pour l'homme, ce qui rend son utilisation pratique très délicate. Il s'agit cependant d'un produit puissant puisque le Dieldrex pulvérisé à faible concentration (4 cm³ par litre d'eau) directement sur les insectes détermine une mortalité de 80 % en quarante-huit heures et de 100 % en trois jours.

La même expérience a été répétée avec des résultats analogues en utilisant successivement le Didigam 55 à raison de 700 cm³ pour 20 l d'eau, le Gamma Cereclor (37,5 g pour 20 l d'eau), l'Hexamul (200 cm³ pour 20 l d'eau), le Soprocide (200 cm³ pour 20 l d'eau) et l'Hexafor (20 g pour 20 l d'eau et 120 g pour 20 l d'eau).

C'est pourquoi sans entrer dans le détail des multiples tests effectués dans la forêt de Saint-Prix, je rejette purement et simplement ce procédé de lutte qui ne saurait donner des résultats satisfaisants; en effet, bien que les produits employés soient de violents poisons de contact, les insectes qui se trouvent entre écorce et aubier ne sont pas atteints, et les taux de mortalité enregistrés restent négligeables.

b) *Application des insecticides sur la face interne de l'écorce.*

Dans ce cas, les essais ont été réalisés en traitant des plaques d'écorce prélevées sur des arbres attaqués, ce qui a permis d'exposer directement tous les insectes (larves et adultes) à l'action des divers produits toxiques.

— *Dieldrex.*

A la concentration de 600 cm³ pour 100 l d'eau, ce produit s'est révélé très actif en provoquant dans un délai de soixante-cinq heures une mortalité de 100 % chez les larves et les adultes de *Ips typographus* L., *Pityogenes chalcographus* L., *Dendroctonus micans* KUG., *Polygraphus poligraphus* L. et *Xyloterus lineatus* OL. En portant la concentration à 700 cm³ pour 100 l d'eau, il est possible d'augmenter à la fois la persistance et l'action toxique du Dieldrex de telle sorte que la mortalité atteint alors son maximum absolu (100 %) en quarante-huit heures. Néanmoins, une concentration nettement plus faible, de l'ordre de 350 à 400 cm³ dilués dans 100 l d'eau donne encore de très bons résultats avec une mortalité de 80 % en quatre-vingt-cinq heures (trois jours

et demi) et de 100 % en deux cent soixante-quatre heures, c'est-à-dire environ onze jours.

La durée d'action du produit est plus difficile à préciser car elle varie sensiblement selon la température ambiante, l'humidité atmosphérique et la pluviométrie. En effet, même à concentration élevée, le Dieldrex utilisé dans la nature après une forte pluie se trouve rapidement dilué et son pouvoir toxique diminue considérablement. Par contre, si les arbres sont traités par temps sec, la persistance peut dépasser 25 jours pour une dose de 7 cm³ de produit par litre d'eau. De façon générale, la chaleur favorise très nettement l'action du produit dont l'efficacité croît proportionnellement à la température.

En raison de sa persistance, le Dieldrex constitue donc un agent de lutte extrêmement efficace contre les *Scolytidae*; mais il a le grave inconvénient d'être fortement toxique pour l'homme et j'ai dû instituer des mesures de protection rigoureuse en obligeant les ouvriers à travailler avec un masque et des gants, car le produit est absorbé par voie cutanée.

— *Dieldrex + Phosdrine.*

J'ai obtenu également des résultats remarquables avec deux solutions mixtes contenant respectivement 30 cm³ de Dieldrex + 40 cm³ de Phosdrine et 80 cm³ de Dieldrex + 120 cm³ de Phosdrine pour 20 l d'eau.

Comme on pouvait le prévoir, la rapidité d'action et la persistance sont nettement plus marquées dans le second cas, et le taux de mortalité atteint alors 100 % en vingt-quatre heures chez les larves et les adultes de *Ips typographus* L., *Dendroctonus micans* KUG., *Xyloterus lineatus* OL. et *Pityogenes chalcographus* L.

Je dois en outre signaler que ces solutions mixtes possèdent un excellent pouvoir de pénétration qui m'a permis parfois de tuer tous les insectes (larves et adultes) sans même être obligé de faire abattre l'arbre. La combinaison Dieldrex-Phosdrine pénètre en effet dans les vaisseaux criblés et circule ainsi avec la sève qui l'entraîne dans les cellules végétales, où les produits peuvent agir directement sur les larves en évolution dans l'écorce ou entre écorce et aubier.

Malheureusement la Phosdrine est également très toxique pour l'homme et, comme dans le cas du Dieldrex, l'absorption du mélange par voie cutanée entraînerait rapidement la mort.

— *Hexamul.*

Ce produit a été utilisé successivement à la concentration assez faible de 150 cm³ pour 100 l d'eau, puis à une concentration double (300 cm³ dilués dans 100 l d'eau).

Il est évident que la seconde formule donne de meilleurs résultats avec une mortalité qui atteint, pour les larves et les adultes de *Ips typographus* L., 85 % en onze heures et 100 % en vingt-quatre heures.

La première expérience reste cependant satisfaisante et j'estime, en conséquence, qu'une dose intermédiaire de l'ordre de 200 cm³ d'Hexamul pour 100 l d'eau est bien suffisante en pratique, car seules la rapidité d'action et la persistance diminuent alors légèrement sans que l'efficacité soit sensiblement modifiée.

Il est à noter, toutefois, qu'une concentration plus élevée permet au produit d'agir en profondeur grâce à une forte tension de vapeur qui lui assure une pénétration d'environ 2 mm dans l'épaisseur de l'écorce où il peut ainsi détruire un grand nombre de larves. Il faut signaler également qu'il est préférable d'effectuer le traitement par temps sec et relativement chaud car la tension de vapeur augmente avec la température.

— *Didigam 55 liquide.*

Selon la concentration, j'ai obtenu avec ce produit les taux de mortalité suivants chez *Ips typographus* L. :

— 300 cm³ pour 100 l d'eau : 40 % en 24 heures
80 % en 48 —
— 350 cm³ pour 100 l d'eau : 50 % en 24 heures
100 % en 48 —
— 500 cm³ pour 100 l d'eau : 75 % en 24 heures
100 % en 48 —

Je crois cependant que, pour obtenir une persistance satisfaisante, il convient de retenir la concentration de 360 cm³ pour 100 l d'eau, qui m'a donné une mortalité de 81 % en seize heures et de 100 % en vingt-quatre heures, mais il est bien évident que les conditions climatiques jouent, ici encore, un rôle très important.

— *Hexafor.*

Cinq essais ont été réalisés sur *Ips typographus* L., à raison de 100, 125, 200, 250 et 400 g de produit pour 100 l d'eau. Bien que l'Hexafor soit actif même à la dose relativement faible de 125 g pour 100 l d'eau, j'estime que la concentration optimale est de l'ordre de 250 g (pour 100 l d'eau), dose qui assure une mortalité de 100 % en vingt-quatre heures; mais quelle que soit la concentration, j'ai observé que les adultes sont plus sensibles que les larves parce qu'ils se trouvent plus facilement en contact avec le produit.

De ce bref exposé sur l'efficacité des divers insecticides, il est possible de dégager les conclusions suivantes :

1° Tous les produits étudiés sont très actifs, à condition d'être utilisés à concentration optimale et de pouvoir entrer en contact suffisamment étroit avec les insectes, larves et adultes.

2° La sensibilité des nymphes est beaucoup plus grande que celle des larves et des adultes car elles se laissent plus facilement imprégner

par les produits toxiques. C'est pourquoi j'ai pris soin, dans la forêt de Saint-Prix, de faire intervenir la lutte chimique au stade nymphal, ce qui m'a donné les meilleurs résultats, avec une mortalité de 100 %.

3° Dans tous les cas, l'efficacité augmente par temps chaud et sec car la tension de vapeur est d'autant plus grande que la température est plus élevée. Ainsi, par exemple, le H-C-H détermine chez les larves de *Ips typographus* L. une mortalité de 100 % en vingt-six heures à la température de 32 °C sous une humidité relative de 60 %; par contre, avec le même produit et dans le même délai, la mortalité ne dépasse pas 61 % pour une température de 12 °C et une H.R. de 92 %.

4° L'ensoleillement direct est également un facteur très favorable car il expose les larves à l'action desséchante des rayons solaires, en même temps qu'il contribue à augmenter la tension de vapeur des insecticides; voici en effet les pourcentages de mortalité obtenus, toutes choses égales d'ailleurs, dans le cas de *Polygraphus poligraphus* L.

DURÉE D'EXPOSITION	EXPOSITION DIRECTE AUX RAYONS SOLAIRES	A L'ABRI DU SOLEIL
12 heures	26 %	9 %
20 —	41 %	17 %
48 —	69 %	43 %
62 —	81 %	61 %
84 —	100 %	72 %

5° Par contre, les précipitations diminuent considérablement l'efficacité des produits et, s'il pleut au cours du traitement, il faut recommencer tout ce qui avait déjà été fait.

6° Un taux d'humidité atmosphérique élevé suffit d'ailleurs à réduire très sensiblement la mortalité en abaissant la tension de vapeur. C'est pourquoi il est préférable d'interrompre le traitement pendant les périodes de forte hygrométrie.

7° Les produits en poudre à base de H-C-H sont à retenir pour leur utilisation facile dans la nature, surtout si le Service forestier ne dispose pas des moyens nécessaires pour assurer le transport de grandes quantités d'eau. Ces produits donnent d'ailleurs d'excellents résultats à condition de poudrer largement le sol, l'arbre et les écorces. Cependant, les jours de vent, il est toujours préférable d'utiliser les produits pulvérisables pour éviter de trop grosses pertes.

8° Enfin, la mortalité augmente non seulement avec la concentration de l'insecticide mais encore avec la quantité totale utilisée. C'est ce que j'ai pu constater en utilisant pour une surface identique (0,40 m^2), d'une part 20 cm^3 de produit pulvérisé et d'autre part 40 cm^3; au bout de quatre jours, la mortalité ne dépassait pas 59 % dans le premier cas, contre 100 % dans le second cas. De façon analogue, la mortalité provoquée par diverses poudres à base de H C H dépend dans une large mesure du poids de poudre employé. Ainsi par exemple,

FIG. 23A et 23B : Traitement contre les *Scolytidae* de la forêt de Saint-Prix. En A, on aperçoit des ouvriers forestiers en train d'écorcer et de pulvériser des Épicéas dans une région très attaquée ; en B, un ouvrier procède à des pulvérisations de Phosdrine et de Dieldrex (produits très toxiques exigeant le port d'un masque protecteur).

avec 10 g de poudre pour 2,3 m², la mortalité ne dépasse pas 24 % en quarante-huit heures, alors qu'elle atteint facilement 91 % avec 50 g sur une même surface. Il faut donc pulvériser ou poudrer abondamment, et dans le cas des insecticides en poudre il faut compter en moyenne 280 à 450 g de produit pour un arbre de 1,50 à 2 m³ (fig. 23).

9° Il est inadmissible de traiter les arbres-pièges sans les écorcer car les résultats sont pratiquement nuls, même avec des produits aussi puissants que le Dieldrex. C'est pourquoi les méthodes allemandes sont à prohiber, car si l'on se contente de pulvériser la face externe de l'écorce, le produit s'infiltre par le trou de pénétration des adultes mais n'atteint pas les vaisseaux criblés où vivent la plupart des larves. Seuls les adultes peuvent donc être détruits par ce procédé qui ne saurait, dans ces conditions, assurer l'élimination des *Scolytidae*.

Dans tous les cas, il est indispensable de traiter également le sol autour des arbres-pièges car les adultes qui tombent lors de l'écorçage entrent alors en contact avec l'insecticide et ne peuvent donc s'échapper pour attaquer des arbres sains. Cette précaution permet de parachever le traitement en augmentant la mortalité et surtout en protégeant les sujets voisins.

Sur la base de ces résultats, et compte tenu des conditions locales, la lutte contre les *Scolytidae* nidifiant dans l'écorce a été organisée de la façon suivante dans la forêt de Saint-Prix :

— Surveillance des arbres-pièges. A ce sujet, je rappelle qu'en cas de surpopulation, les arbres-pièges sont envahis par les insectes qui, en l'absence d'intervention, développeraient une nouvelle génération et donneraient ainsi naissance, lors du prochain essaimage, à des milliers d'adultes abandonnant leur biotope de naissance pour attaquer la forêt saine. Il est donc absolument nécessaire d'exercer une surveillance constante de tous les arbres-pièges dès le mois de mai. Il faut, en effet, suivre de très près l'évolution larvaire pour traiter chaque piège à l'époque du 4e stade larvaire ou au plus tard au début du stade nymphal.

— Traitement par les insecticides. — En 1960, l'inspection d'Autun avait à sa disposition une quantité importante d'Hexapoudre à 5 % de H-C-H (hexachlorocyclohexane) de finesse 100 % au tamis modèle 20. Pour éviter une dépense superflue, j'ai donc fait utiliser ce produit qui a donné des résultats remarquables dans les conditions d'application.

En pratique l'opération se décompose en trois phases successives comportant le poudrage du sol destiné à détruire les insectes qui parviendraient à s'échapper, l'écorçage des arbres-pièges avec exposition de la face interne des écorces vers la lumière, et enfin le poudrage des écorces et du tronc. Par beau temps, il est recommandé de commencer le poudrage tôt le matin, dès 6 heures si possible, car l'humidité nocturne fixe mieux la poudre dont la chaleur augmente ensuite (de 10 à 16 heures) la tension de vapeur qui asphyxie les insectes.

Dix heures après ce traitement, j'ai pu vérifier que larves et adultes mouraient sur place. Certains adultes cherchent à se réfugier dans l'épaisseur de l'écorce, mais l'écorce étant imprégnée de substance toxique, ils ne peuvent résister plus de quarante-huit heures.

C. Bilan général

A la suite de ces mesures, le bilan général de la lutte au 1er septembre 1960 apparaît extrêmement satisfaisant. De mai à fin juillet, 1 600 arbres portant des entonnoirs de résine, signe certain de la présence de *Dendroctonus micans* KUG., ont été exploités pour éviter la multiplication et l'extension de cette espèce primaire. Tous les arbres dont l'attaque restait bien délimitée ont été traités localement et après la destruction de *Dendroctonus micans* KUG., les troncs ont été utilisés comme arbres-pièges pour *Ips typographus* L. lors du second essaimage. Par contre, les arbres plus envahis ou attaqués en même temps par *Ips*, ont été traités comme les arbres-pièges préparés pour le premier essaimage. Compte tenu des arbres sur pied occupés par *Ips* ou préparés en mai comme pièges pour cette espèce, il a été abattu et traité depuis mai 1960 un total de 2 604 Épicéas dont la répartition par parcelle est indiquée dans le tableau suivant.

Au 1er septembre 1960, il existait en outre 738 arbres-pièges préparés pour le second essaimage mais non attaqués en juillet-août.

Arbres abattus dans la forêt domaniale de Saint-Prix
de mai à septembre 1960

PARCELLE	NOMBRE D'ARBRES	NOMBRE DE MÈTRES CUBES	PARCELLE	NOMBRE D'ARBRES	NOMBRE DE MÈTRES CUBES
2	29	42,920	60	29	41,131
5	53	78,911	61	21	29,250
6	70	122,973	62	17	28,883
8	144	204,101	63	114	111,117
9	56	79,468	64	20	11,420
10	20	31,253	65	65	46,209
11	100	131,228	66	19	29,967
12	21	26,907	67	41	47,388
15	20	20,331	68	90	106,449
16 *	508	393,327	69	110	58,502
23	2	6,073	70	1	1,476
25	6	4,212	72	27	38,128
26	4	2,541	73	24	19,921
27	5	4,529	74	85	101,656
28	2	4,078	76	17	12,892
29	39	64,988	81	9	9,800
33	59	31,618	82	17	12,749
34	37	28,324	85	37	14,654
35	50	23,751	86	1	2,504
37	47	87,458	89	10	8,643
40	47	43,880	90	11	16,941
41	6	7,154			
48	10	15,302			
49	26	37,706		2 604	2 874,710
50	76	78,938			
55	163	234,270			
56	110	146,498			
57	135	172,291			

* Noter qu'en 1959 cette parcelle a été incendiée sur plus d'un hectare.

Conçue de façon scientifique, en fonction des caractéristiques de la forêt de Saint-Prix et des particularités biologiques des *Scolytidae*, la méthode de lutte mise en œuvre a donné d'excellents résultats puisqu'au mois de septembre les arbres-pièges hébergeaient en moyenne 2 ou 3 insectes, parfois même aucun. L'inspection effectuée à cette époque avec M. l'ingénieur MAZET et M. l'agent technique DOURTHE permet de fournir les précisions suivantes :

État des arbres-pièges au 1er septembre 1960

PARCELLE 67 :	7	Épicéa	aucune pénétration.
	1	—	avec sept trous de pénétration (début d'hibernation).
PARCELLE 68 :	10	Épicéa	aucune pénétration.
	1	—	avec 1 insecte pratiquant une chambre d'accouplement.
PARCELLE 63 :	7	Épicéa	aucune pénétration.
	1	—	avec chambre d'accouplement.
	1	—	avec 1 seul insecte.
	1	—	avec 2 insectes.
PARCELLE 74 :	12	Épicéa	aucune pénétration.
	1	—	avec 8 insectes en hibernation.
	1	—	avec 2 insectes.
	1	—	en bordure de la route à écorcer et traiter.
PARCELLE 16 :	3	Épicéa	aucune pénétration.
	1	—	attaqué, à écorcer.
	1	—	avec galerie d'espèce secondaire.
	1	—	avec 4 trous de pénétration.
	1	—	avec 3 systèmes, à écorcer et traiter.
PARCELLE 8 :	22	Épicéa	aucune pénétration.
	1	—	avec 2 systèmes de *Pityogènes* au sommet.
	1	—	avec 4 insectes en hibernation.
	1	—	avec 10 insectes en hibernation.
	1	—	avec 1 insecte.
	1	—	avec 1 chambre d'hibernation au sommet.
PARCELLE 2 :	4	Épicéa	aucune pénétration.
	1	—	avec 5 systèmes, à écorcer et traiter.
	1	—	attaque de juillet, à écorcer.
	1	—	a été oublié, à écorcer.
	1	—	avec quelques insectes, à écorcer.
PARCELLE 6 :	1	Épicéa	aucune pénétration.
	1	—	avec 4 systèmes.
	1	—	modérément attaqué (3 systèmes de ponte).
	1	—	à écorcer, attaque juillet.
PARCELLE 9 :	10	Épicéa	aucune pénétration.
	1	—	avec 2 chambres d'accouplement.
	1	—	attaqué en juillet, à écorcer.
	1	—	avec 4 insectes.
	1	—	avec 3 chambres d'accouplement.
	2	—	avec 1 chambre d'accouplement.
PARCELLE 11 :	14	Épicéa	aucune pénétration.
	1	—	avec 5 chambres d'accouplement.
	1	—	avec 2 chambres.
	1	—	avec 4 chambres.
	2	—	avec 2 systèmes de ponte.
PARCELLE 10 :	3	Épicéa	aucune pénétration.
	1	—	avec 11 systèmes, à écorcer.
	1	—	avec 4 chambres d'accouplement.
	1	—	avec 6 chambres.
PARCELLE 57 :	33	Épicéa	aucune pénétration.
	1	—	de juillet avec 5 systèmes, à écorcer.
	1	—	— avec 4 systèmes, à écorcer.
	5	—	avec 1 chambre d'hibernation.

Enfin, selon le rapport qui m'a été adressé par M. l'Inspecteur d'Autun le 22 septembre 1960, la situation apparaît excellente avec 386 Épicéas non attaqués, 45 totalisant 143 systèmes de ponte, 43 groupant 105 chambres d'accouplement et enfin 11 arbres abritant quelques *Scolytidae* en hibernation (de 1 à 6 individus).

A titre de comparaison, je rappellerai qu'en mai et juin il existait plus de 1 000 arbres, attaqués en moyenne par 1 000 insectes adultes, soit pour chacun une génération en puissance de l'ordre de 50 000 individus. Il suffit de rapprocher ces deux séries de chiffres pour pouvoir conclure que la lutte contre les *Scolytidae* de la forêt de Saint-Prix a été couronnée de succès. Si les mesures nécessaires sont prises en temps utile et appliquées avec conscience, il est donc possible, même dans les cas les plus graves, d'obtenir une réduction très importante des populations de *Scolytidae* et la disparition quasi totale des dégâts.

2. Lutte contre les *Scolytidae* du bois

Après avoir étudié en détail la lutte contre les *Scolytidae* de l'écorce, qui sont de loin les plus dangereux pour la forêt de Saint-Prix, il reste à traiter le problème des espèces qui évoluent à l'intérieur du bois et provoquent de ce fait d'importants dégâts d'ordre technique.

Il s'agit en l'occurrence de *Xyloterus lineatus* OL. que l'on peut rencontrer dans toutes les parcelles, mais dont la fréquence ne saurait en rien se comparer à la pullulation de *Ips typographus* L. ou même à l'extension de *Dendroctonus micans* KUG.

Pour obtenir le maximum de résultats, il convient de prévoir deux modes de lutte bien distincts car le problème revêt un aspect différent selon que l'on veut détruire *Xyloterus lineatus* OL. lors de l'essaimage ou après sa pénétration dans le bois.

A. Lutte en période d'essaimage.

A ce stade, la lutte contre *Xyloterus* rentre dans le cadre des procédés applicables aux espèces qui nidifient dans l'écorce, puisqu'on cherche précisément à éliminer les insectes au moment de leur installation sur la plante-hôte. Seule l'époque d'abattage des arbres-pièges est différente car *Xyloterus* ne s'attaque pas au bois trop frais dont la pression osmotique reste encore voisine de la normale.

Xyloterus vit en effet aux dépens d'arbres abattus depuis plusieurs mois, de troncs abandonnés à terre et même de sujets morts non écorcés. C'est pourquoi les arbres-pièges coupés en mars ou avril sont trop frais pour être attaqués par *Xyloterus* lors de l'essaimage de mai; il en irait de même pour des arbres abattus en mai-juin en vue du second essaimage de juin-juillet.

En pratique, il est possible d'attirer environ 80 % des populations qui essaiment en avril-mai, si l'on prépare les arbres-pièges nécessaires

dès le mois de septembre précédent, en prenant soin toutefois de ne pas les exposer à un ensoleillement trop direct. On peut utiliser également des arbres souffreteux ou cachectiques que l'on fait abattre au mois de février. A l'époque de l'envol, ces arbres-pièges sont tout à fait propices à l'installation de *Xyloterus* car ils ont perdu leur vitalité mais restent encore un peu en sève.

Comme *Xyloterus* est un insecte hâtif susceptible d'avoir, en règle générale, une seconde génération dans l'année, il est bon de prévoir quelques arbres-pièges en novembre pour l'essaimage de juillet; on pourrait d'ailleurs attendre jusqu'en mars-avril pour préparer ces arbres qui sont destinés à attirer *Xyloterus* non pas au printemps mais au mois de juillet. Dans les deux cas, les sujets ainsi abattus servent de pièges pour *Ips typographus* L. avant de devenir propices à l'installation de *Xyloterus*. Pour lutter contre *Ips*, il est alors indispensable de traiter ces arbres à la fin du mois de juin, et à cette époque il est très fréquent de trouver *Xyloterus* dans les couches superficielles de l'aubier, ce qui permet de détruire simultanément les deux espèces. En fait, il s'agit donc tout simplement de traiter en juin-juillet les arbres abattus attaqués par *Ips typographus* L., et *Xyloterus* se trouve éliminé en même temps. Il suffit par ailleurs de bien surveiller la forêt pour éliminer soigneusement tous les sujets secs sur pied et tous les arbres-pièges ou chablis non encore écorcés au mois de juillet. Si l'on prend soin de respecter les simples règles d'hygiène forestière, tout danger d'extension de *Xyloterus* se trouve écarté sans qu'il soit besoin de prévoir des mesures particulières.

B. Lutte après pénétration dans le bois

L'insecte est très sensible à l'action des divers produits toxiques, et tout spécialement du Dieldrex et de l'Hexamul qui provoquent une mortalité de 100 % en quarante-huit heures à des doses relativement faibles (230 cm^3 de Dieldrex ou 260 cm^3 d'Hexamul pour 100 l d'eau). Malgré cette efficacité certaine, la lutte après l'installation de *Xyloterus* ne donne que des résultats très limités, car il est extrêmement difficile d'atteindre les populations qui vivent dans la profondeur du bois de cœur.

Parmi tous les produits étudiés, les insecticides contenant des doses élevées de H-C-H peuvent pénétrer par l'orifice d'entrée et tuer les adultes, mais les larves ne sont que très rarement touchées. Les phénols et les pentaphénols me paraissent cependant préférables car ils possèdent un plus grand pouvoir de pénétration, en même temps qu'une persistance remarquable; c'est le cas également du Dieldrex à très forte concentration (600 cm^3 pour 50 l d'eau). L'augmentation de la concentration ne constitue cependant qu'un palliatif, car elle ne résout pas le véritable problème qui est de toucher directement les insectes.

C'est pourquoi j'estime personnellement que la lutte contre *Xyloterus* est étroitement liée à l'hygiène des peuplements forestiers. Étant donné que cet insecte ne présente actuellement aucune menace de surpopulation dans la forêt de Saint-Prix, il serait trop coûteux de prévoir des mesures spéciales et il suffit de le traiter à l'occasion de la lutte contre *Ips typographus* L.

En cas d'extension plus importante, je conseillerai simplement un traitement complémentaire des arbres-pièges déjà attaqués par *Ips*. On sait, en effet, que *Xyloterus* s'installe après *Ips* et, lorsque les conditions climatiques le permettent, on peut profiter de l'intervalle entre les deux attaques pour effectuer une pulvérisation sur l'écorce des arbres-pièges; sans modifier les conditions de lutte contre *Ips*, ce procédé permet déjà de détruire un certain nombre de *Xyloterus* au moment où ils pratiquent leur trou de pénétration. L'opération est susceptible de donner de bons résultats, mais elle s'avère très délicate car elle exige des connaissances très précises concernant la biologie et le comportement de l'espèce.

En l'état actuel, il n'est d'ailleurs pas nécessaire de pratiquer ce traitement, et la lutte contre *Xyloterus* doit s'envisager essentiellement dans le cadre des mesures habituelles d'hygiène sylvicole. Il est cependant préférable d'entretenir quelques arbres-pièges à titre préventif et je terminerai en rappelant brièvement les règles à observer pour l'élimination de *Xyloterus lineatus* OL. et plus généralement de tous les *Scolytidae* nidifiant dans le bois.

— Préparer des arbres-pièges en septembre pour le printemps suivant; dès leur attaque, en avril ou mai, écorcer et *poudrer* immédiatement avant la pénétration des insectes dans l'aubier.

— Préparer également des arbres-pièges en novembre pour l'essaimage d'été (juin-juillet): surveiller l'installation des insectes, écorcer aussitôt et *pulvériser* soigneusement les écorces et l'aubier.

— Surveiller les arbres-pièges après traitement, et en cas d'apparition de trous de pénétration, pulvériser à nouveau du Dieldrex, de l'Hexamul ou tout autre insecticide à base de H-C-H, pourvu qu'il soit utilisé à très forte concentration. Surveiller tout spécialement les endroits ensoleillés car l'insecte préfère en général les troncs exposés au soleil.

— Enfin et surtout transporter les arbres abattus dès l'exploitation car la vidange du bois avant l'essaimage constitue le meilleur moyen de lutte contre *Xyloterus*.

III. — DIRECTIVES PRATIQUES POUR LA PROTECTION DE LA FORÊT DE SAINT-PRIX

Les méthodes énergiques mises en œuvre sous ma direction en 1960 ont permis de faire disparaître la grave menace que représentait

la surpopulation, en assurant la destruction massive des espèces les plus redoutables. Mais il est évident que cette intervention ne peut rester isolée, sous peine de voir le même danger réapparaître d'ici quelques années. En toute conscience, je ne saurais considérer ma mission comme terminée sans attirer l'attention des Services forestiers sur la nécessité de prévoir systématiquement pour l'avenir des mesures d'entretien.

Il me paraît également nécessaire de souligner certains aspects de la lutte, de caractère essentiellement pratique, mais dont il est indispensable de tenir compte pour assurer le succès des opérations ou même éventuellement pour améliorer les méthodes de protection de la forêt.

1. Possibilité d'emploi de produits systémiques

En dehors des expériences réalisées avec les insecticides classiques, j'ai étudié l'action des produits systémiques qui peuvent circuler dans les vaisseaux criblés sans dommage pour l'arbre, et imprégner ainsi les cellules corticales où ils tuent les populations de *Dendroctonus micans* KUG., insecte qui présente la particularité remarquable d'attaquer l'arbre par plages.

Dans la forêt de Saint-Prix, en particulier, j'ai constaté qu'en règle générale *Dendroctonus* s'installe au voisinage d'une zone blessée; il s'agit donc d'une attaque bien localisée qui ne met pas en danger la vitalité de la plante-hôte, et si l'on réussit à empêcher l'extension des insectes, on peut fort bien sauver l'arbre. Le cas est encore plus typique lorsque *Dendroctonus* s'attaque à des arbres tout à fait sains. C'est pourquoi j'ai cherché à mettre au point un moyen susceptible de détruire *D. micans* KUG., soit lors de son installation, soit au stade larvaire, sans être obligé de faire abattre les arbres attaqués.

L'espèce se prête tout particulièrement bien à ce projet, car chaque orifice d'entrée pratiqué par *Dendroctonus* apparaît entouré d'un entonnoir de résine tout à fait caractéristique, qui permet de déceler à coup sûr la présence de l'insecte sur un arbre apparemment sain.

En pratique, une pulvérisation directe sur la face externe de l'écorce ne donne aucun résultat car le rithidome (partie morte de l'écorce) ne participe pas à la circulation de la sève et fait obstacle à la pénétration de l'insecticide; malgré leur très forte toxicité, les divers produits agissant comme systémiques (Dieldrex, Phosdrine, et de façon générale tous les esters phosphoriques) s'évaporent alors rapidement sans aucun effet.

En vue d'assurer la pénétration des produits, j'ai pratiqué au préalable, légèrement au-dessous de la plage attaquée, une petite excavation pour dénuder l'aubier sur une largeur de 1 à 2 cm en prenant soin de ne pas léser les cellules vivantes; j'ai ensuite badigeonné cette

zone avec une solution mixte dosant respectivement 50 cm³ de Phosdrine et 60 cm³ de Dieldrex pour 20 l d'eau. Enfin j'ai appliqué sur la blessure un coton largement imbibé de la même solution et maintenu en place par une bande de matière plastique bien serrée autour du tronc. Si l'on renouvelle le coton deux ou trois fois, ce dispositif permet d'éviter l'évaporation et assure une imprégnation suffisante pour que le produit soit absorbé par les vaisseaux criblés: il circule ainsi avec la sève et atteint tous les tissus vivants de la zone traitée. Dans ces conditions, l'utilisation de produits systémiques donne d'excellents résultats en tuant les larves en évolution entre l'écorce et l'aubier, sans gêner la croissance de l'arbre.

Cependant, l'efficacité du produit est soumise à certains impératifs qui en limitent l'application à quelques cas bien définis.

1. Pour favoriser l'action des insecticides agissant comme systémiques, il est indispensable que la zone attaquée soit entourée de cellules vivantes qui pourront absorber les produits par osmose.

2. L'époque la plus favorable pour l'application de cette méthode se situe fin avril-début mai: on sait en effet qu'à cette date le réveil de la végétation correspond à une période d'activité physiologique intense qui augmente l'efficacité du produit en accélérant la circulation de la sève.

3. La chaleur et surtout la sécheresse jouent également un rôle très important car la transpiration de la plante-hôte crée un appel d'eau qui favorise la circulation du produit toxique: mais dans ce cas le produit s'évapore rapidement et il doit être renouvelé très souvent pour bien imprégner les vaisseaux criblés et l'aubier.

4. Il faut utiliser des solutions très diluées car à forte concentration tous les produits systémiques deviennent phytotoxiques et ne peuvent plus être absorbés par les cellules mortes: en conséquence, ils imbibent simplement les couches superficielles de l'écorce au même titre que tout autre insecticide et perdent de ce fait tout leur intérêt.

5. Lorsqu'il existe plusieurs plages attaquées sur un même arbre, l'extension des dégâts détermine un déséquilibre physiologique très important, surtout si les attaques sont annulaires et interrompent la circulation de la sève: dans ce cas, l'emploi d'un produit systémique ne se justifie plus car les échanges osmotiques se trouvent perturbés et l'absorption du produit reste défectueuse. D'ailleurs l'arbre est généralement trop atteint pour pouvoir être sauvé et il n'y aurait aucun intérêt à entreprendre un traitement spécial.

Ces conclusions s'appliquent à fortiori aux arbres très attaqués ou en voie de dépérissement trop avancé et il est bien inutile d'avoir recours à un produit systémique qui ne pourrait agir que par imbibition. Dans ces conditions, il est beaucoup plus simple d'appliquer le traitement ordinaire par pulvérisation ou poudrage des troncs abattus et

écorcés. En un mot, le traitement par les produits systémiques donne des résultats intéressants si les tissus végétaux sont vivants, mais s'avère tout à fait inutile au cas contraire.

En conclusion, cette méthode ne saurait constituer un moyen de lutte systématique et ne peut s'appliquer qu'aux attaques limitées et bien localisées de *Dendroctonus micans* KUG. En intervenant au premier stade de l'attaque, il est possible de tuer les insectes sans abattre l'arbre, mais l'emploi des produits systémiques reste un cas d'espèce et ne doit pas être confondu avec le procédé des pièges empoisonnés conçu par WELLENSTEIN.

En effet, pour éviter l'abattage d'arbres-pièges, WELLENSTEIN a eu l'idée d'empoisonner à l'avance certains arbres sur pied à l'aide de divers produits agissant comme systémiques (arsenic, fluor et sels inorganiques), afin de tuer les insectes dès leur installation.

Personnellement je ne suis pas partisan de cette méthode car, pour être pleinement efficace, elle impliquerait une connaissance très précise de la durée de toxicité de la sève, ainsi qu'un renouvellement continuel des produits, afin de tenir compte de l'échelonnement de l'essaimage et des interruptions fréquentes provoquées par un abaissement de la température ou une simple averse. De plus, si la pression osmotique des arbres voisins non traités se trouve inférieure à celle des pièges empoisonnés, les insectes s'attaquent aux sujets sains et les arbres-pièges restent sans objet et sans utilité. Enfin, le procédé de WELLENSTEIN ne permet pas d'apprécier la densité d'occupation et l'extension des insectes, alors qu'on suit automatiquement l'évolution des *Scolytidae* sur les arbres-pièges décrits dans le précédent chapitre. L'expérience a montré d'ailleurs que ces arbres-pièges donnent des résultats remarquables pour la destruction massive des insectes.

Par contre, on pourrait fort bien intégrer le procédé de WELLENSTEIN dans le cadre général de la lutte en prévoyant trois phases successives :

Première phase : Pratiquer une annélation sur des sujets d'un diamètre inférieur à 40 cm car les résultats sont moins concluants s'il s'agit d'arbres plus gros; imprégner de produits systémiques que l'on renouvelle tous les trois ou quatre jours.

Deuxième phase : Au bout de quinze à vingt jours, couper l'arbre qui servira d'arbre-piège abattu pendant une vingtaine de jours pour attirer le maximum d'insectes.

Troisième phase : Traiter l'arbre par écorçage et poudrage.

Mais cette façon d'opérer entraîne une dépense supplémentaire qui en diminue d'autant l'intérêt. A mon avis, l'utilisation de pièges empoisonnés ne se conçoit que dans les peuplements peu attaqués, comme mesure d'entretien pour éviter l'extension des *Scolytidae*. Elle me paraît au contraire insuffisante pour enrayer les attaques massives

en cas de pullulation des insectes. Dans ce cas, j'estime que seule la méthode de lutte exposée plus haut et qui a fait ses preuves dans la forêt de Saint-Prix, est susceptible de donner les résultats cherchés, en faisant disparaître la surpopulation.

2. Plan général de protection

a) Protection contre l'ensemble des *Scolytidae*

De janvier à mars.

1. Rechercher et abattre systématiquement tous les arbres sur pied attaqués par les *Scolytidae* — Écorcer et brûler immédiatement les écorces — Brûler également toutes les branches afin d'obliger *Pityogenes chalcographus* L. et *Polygraphus poligraphus* L. à attaquer le sommet des arbres-pièges préparés pour *Ips typographus* L. On peut ainsi traiter ces deux espèces en même temps que *Ips* sans aucune dépense supplémentaire.

2. Abattre les premiers arbres-pièges en lisière des trouées bostrychées, à raison de 1 à 2 arbres par hectare, en prenant soin de les disposer à l'abri de l'ensoleillement direct.

3. Incinérer aussitôt les branches de ces arbres-pièges; cependant, en cas de pullulation des *Pityogenes* ou de *Polygraphus*, il est bon de laisser quelques tas de branches dans chaque parcelle en surveillant très attentivement l'installation et l'évolution des insectes. Dans cette hypothèse, il faut incinérer coûte que coûte autour du 15 mai. Cette mesure peut présenter de gros risques d'incendie au cours des années chaudes et sèches.

4. Vérifier les souches et les chablis pour déceler s'il existe des morsures de nutrition de *Ips typographus* L., et le cas échéant, traiter en avril tous les lieux d'hibernation.

En avril et mai.

1. Surveiller les premiers arbres-pièges pour contrôler régulièrement le degré d'attaque.

2. Vers le 15 mai, préparer une seconde série d'arbres-pièges dont le nombre sera déterminé en fonction de la densité des populations installées sur les premiers pièges, mais aussi en fonction des conditions climatiques locales, qui peuvent favoriser ou au contraire retarder l'évolution des *Scolytidae*.

3. Vérifier éventuellement les branches utilisées comme pièges pour *Pityogenes* ou *Polygraphus*.

En juin (*du* 1er *au* 10 *juin*).

1. Écorcer et poudrer les pièges de la première série.

2. Rechercher et éliminer tous les sujets attaqués sur pied.

3. Surveiller la vitalité de la forêt et redoubler de vigilance en cas de sécheresse.

En juillet.

1. Vérifier la seconde série d'arbres-pièges et écorcer dès l'apparition des premières nymphes. Traiter aussitôt avec un produit toxique à base de H C H en prenant soin de bien poudrer le sol, le tronc sur toutes ses faces et la face interne des écorces.

2. Surveiller toujours l'ensemble du peuplement pour déceler et abattre, au premier signe d'attaque, les arbres debout que l'on traite de la même façon.

3. Contrôler également les branches attaquées par *Pityogenes* pour les incinérer aussitôt après une période pluvieuse.

4. Si les conditions climatiques sont très favorables au développement des *Scolytidae*, préparer vers le 10-15 juillet un arbre-piège à l'hectare pour attirer les populations qui essaimeront en août. Ne pas oublier que les arbres-pièges doivent être ébranchés et protégés de l'ensoleillement direct.

5. Au cas où faute d'autre matériel, *Ips typographus* L. s'installerait dans les souches, traiter celles-ci non par poudrage mais par pulvérisation.

6. De façon générale, les pulvérisations sont préférables lorsqu'il s'agit de détruire les larves qui vivent dans l'épaisseur de l'écorce, comme par exemple les jeunes larves de *Ips typographus* L. ou les larves de *Polygraphus*. Après l'écorçage, on doit pulvériser l'insecticide sur la face interne des écorces, préalablement tournée vers la lumière; il faut compter en moyenne 10 à 12 litres de solution par mètre cube de tronc à traiter.

En août et septembre.

1. Entre le 10 et le 20 août, vérifier tous les arbres-pièges de la troisième série et utiliser éventuellement en septembre ceux qui ne sont pas attaqués.

2. Par contre, s'il y a eu une seconde génération complète et une génération sœur, les arbres-pièges sont attaqués et doivent être traités par pulvérisation après écorçage.

3. Simultanément, abattre et traiter tous les arbres sur pied dont on peut déceler l'attaque.

En octobre.

Tous les arbres hébergeant des *Scolytidae*, qu'il s'agisse d'arbre-piège ou de sujets debout, doivent être écorcés et traités au plus tard au début d'octobre pour éviter l'hibernation de *Ips typographus* L. dans le sol. En effet, à l'approche de l'hiver, *Ips* tend à abandonner la plante-

hôte pour s'enfoncer dans l'humus au voisinage des arbres attaqués. Dans toute la mesure du possible, il convient d'empêcher cette migration car un traitement à ce stade est toujours aléatoire en raison de la faible pénétration des insecticides dans le sol.

D'octobre à janvier.

Durant cette période, il ne reste plus qu'à brûler les branches envahies par *Pityogenes* et à éliminer éventuellement les arbres attaqués sur pied.

b) PROTECTION CONTRE *Dendroctonus micans* KUG.

En mars-avril.

1. Rechercher l'existence des sécrétions résineuses caractéristiques en forme d'entonnoir.

2. Si l'attaque reste bien localisée, imprégner la zone voisine de produits agissant comme systémiques (Dieldrex et Phosdrine); on peut ainsi sauver l'arbre en tuant les larves.

3. Éliminer les arbres très attaqués et appliquer le traitement classique (écorçage, puis poudrage avec des insecticides à base de H C H).

En juillet-août.

Vérifier l'apparition de nouvelles attaques et traiter immédiatement comme ci-dessus.

De façon générale, éviter, en particulier lors de l'exploitation des arbres voisins, les blessures qui favorisent l'installation de *Dendroctonus micans* KUG.

SUMMARY

Having fulfilled the mission that was entrusted to me by the National School of Forestry and Waterways, the following is my report on the study of the ecological and biological research that has been carried out with the purpose of protecting the Government owned forest of Saint-Prix, from the *Scolytidae* coleoptera.

Speaking in general terms, the extent of the dammage is essentially due to: the fact that only Epicea grows there; the draught of the past two years; to the lack of scientific methods of control; these three factors together, have favoured massive extension of *Ips typographus* L. that are a serious menace to the *Picea excelsa* plantations. A far reaching analysis of the climatic conditions and the vitality of the Saint-Prix plantations showed that the draught of spring 1960 brought about a noticeable decrease of the osmotic pressure of the Epicea, which is a definate sign of a general physiological absence of equilibrium which favours the setting in of the *Scolytidae*. On the other hand, a number of pedologic tests showed an abnormally high potassium/calcium ratio, which revealed a slow transformation of the Ranker type of soil into a podzolic ocre soil less favourable to growth. A complete list shows all the species known to this day in the Saint-Prix forest and points out their respective economic importance. Of all the *Scolytidae* *Ips typographus* L. is by far the one to be dreaded most because of the extent to

which it multiplies and because of the fact that only Epicea is grown, which particularly favours their multiplication, however. *Dendroctonus micans* KUG. is also likely to cause considerable dammage and *Pityogenes chalcographus* L. is not to be neglected either as it becomes a real danger in the case of over population; compared to these three species, *Polygraphus poligraphus* L. is of minot importance and *Xyloterus lineatus* OL. only causes dammage of a purely technical nature. The protection of the Saint-Prix Government owned forest is based on mass destruction of the populations of parasites after they have been attracted on to trap-trees, this is effected by means of insecticide products. Taking into consideration their physiological particularities, I gave the precise time at which the felling of the trap trees should be effected in order to obtain the best results. For this purpose I drew up a detailed plan of the measures that have to be adopted and gave all the useful information for each phase of the operations: felling of the trap trees, surveillance, and treatment. Lastly, I tested the results of insecticides with a H-C-H or D.D.T. or dieldrine basis that are sold under various formulas prepared is the case may be in powder form, in disolvable powder form, or in the liquid form. I did not try to test the respective sensitiveness of each species to each product, I simply studied the optimum condition under which the principle insecticides should be applied and the results thus obtained. This information aims at assisting the Forestry services in their choice of the most appropriate insecticide for each particular case.

This method of control gave excellent practical results in the Saint-Prix forest, as far as eliminating the major part of the insects in evolution in May 1960. Thus the density of the population was reduced to a negligeable proportion, and it is now possible to protect the forest by simple methods of maintenance and by watching the increase of *Scolytidae* in the surrounding plantations. In present conditions, a neighbouring forest that has not undergone treatment is a permanent menace to the Saint Prix forest which thus, is open to an increase of insects.

In the general interest, all private owners should be encouraged to join forces with the Forestry and Waterway services for this fight. Failing this, forestry authorities must nonethe-less make every effort to protect the Saint-Prix forest against attacks from *Scolytidae* as these reduce productivity considerably. This forest by the quality of its timber and the extent of the cuts is of particular interest to forestry economy. I foresee that if the necessary operations are regularly carried out, my mission will have resulted in mass destruction of the overpopulated species and a general cleaning out of the Saint-Prix forest. From now on, only a maintenance treatment will be required to limit the extension of the *Scolytidae* and prevent them from multiplying and thus, the Saint-Prix forest will be effectively protected from a mass attack. To achieve this, it is hoped that the surrounding private owned forests will be treated according to the same methods, in order to avoid all possibilities of a new invasion in the future. The economic importance of coniferous plantations, the remarkable quality of the timber in the Saint-Prix forest, fully justify that certain methods of protection be applied by all concerned (Forestry services, private owners, and contractors) whose joint action would contribute to serve the general interest.

BIBLIOGRAPHIE

En raison de l'originalité du sujet, je ne donnerai ici qu'une bibliographie très sommaire.

[1] BALACHOWSKY, A. — 1949. Faune de France. Coléoptères scolytides. — Édit. *Lechevalier*, Paris, 320 p., 345 fig.

[2] CHARARAS, C. — 1961. Étude biologique des Scolytides des Conifères. — *P. Lechevalier*, Paris, 600 p., 160 pl. (sous presse).

[3] — 1958. Recherches sur la biologie de *Pityokteines curvidens* GERM. et étude de son comportement à l'égard des substances extraites des oléorésines. — *Ann. Inst. nat. agron.*, **44**, 1-49, 9 fig., 12 tabl.

[4] — 1958. Rôle attractif de certains composants des oléorésines à l'égard des *Scolytidae* des résineux. — *C. R. Ac. Sci.*, **247**, 1653-1654.

[5] — 1959. Les variations de la pression osmotique des Conifères, facteur déterminant la pénétration des *Scolytidae* (Insectes Coléoptères). — *C. R. Ac. Sci.*, **248**, 1407-1410.

[6] — 1959. Recherches sur le déséquilibre physiologique des branches de Conifères attaquées par les Coléoptères *Scolytidae*. — *C. R. Ac. Sci.*, **248**, 3612-3614.

[7] — 1959. Coléoptères *Scolytidae*, hôtes nouveaux de divers Hyménoptères parasites. — *Bull. Soc. Ent. Fr.*, **64**, 8-14.

[8] — 1959. L'attractivité exercée par les Conifères à l'égard des *Scolytidae* et le rôle des substances terpéniques extraites des cléorésines. — *Rev. Path. vég. Ent. agr. Fr.*, **38**, (2), 113-129, 3 fig., 3 graphiques.

[9] — 1959. Précisions sur l'efficacité des arbres-pièges en fonction des particularités biologiques des Scolytides. — *Revue Forestière Française*, École nationale des eaux et forêts (8-9), 577-584.

[10] — 1959. Relations entre la pression osmotique et le rôle de la plante hôte à l'égard des Coléoptères *Scolytidae*. — *C. R. Ac. Sci.*, **249**, 2109-2111.

[11] WELLENSTEIN, G. — 1954. Die Niederkämpfung der Borkenkäfer in Wurttemberg-Hohenzollern (Forstschutzstelle südwest, Ringingen/Wurt.).

Dans la même Revue, articles de HODAPP, W., WAGNER, E., UBRICH, A., BOMBOSCH, KLAUSER-BAISCH D., HIERHOLZER O., GAUSS R., POSTNER M., etc.

(*Laboratoire de Zoologie, Institut national agronomique*)

ÉLEVAGE ASEPTIQUE D'INSECTES PHYTOPHAGES

PAR

C. Vago, J. Fosset et G. Meynadier

Introduction

Au cours de l'étude de nombreux problèmes biologiques, souvent économiquement importants, on a ressenti depuis longtemps la nécessité d'expérimenter sur animaux aseptiques. Le symposium organisé récemment à ce sujet et relatif aux vertébrés en témoigne l'actualité (Lobund Rep., 1960; Philips et Smith, 1959; Regniers, 1943). Ces questions concernent aussi les invertébrés et notamment les insectes.

Ainsi un tel sujet est constitué par le phénomène de la symbiose et surtout la transmission de formes bactériennes et cryptogamiques intracellulaires si répandues chez les hémiptères.

En physiologie du métabolisme, le désir d'exclure les facteurs de transformation chimiques externes, en grande partie microbiens, n'est pas récent.

En pathologie, l'étude approfondie du passage intraovulaire de protozoaires, virus ou bactéries, exigerait l'exclusion de la possibilité d'infection externe. La réalisation de telles conditions expérimentales acquiert une importance particulière en virologie en ce qui concerne la latence des viroses. Ici, le moindre apport externe de virus compromettrait les conclusions sur la provocation physique ou chimique de telles maladies (Vago, 1956). Des problèmes assez semblables sont posés dans l'étude de la transmission des maladies par les insectes vecteurs et notamment au sujet du sort des germes transmis, dans l'organisme du vecteur.

Enfin, la culture de tissus et de cellules d'insectes, dont l'évolution est considérable depuis quelques années, a beaucoup à attendre de l'obtention d'insectes aseptiques. En effet, pour réaliser des cultures de tissus, les organes destinés à être explantés doivent être exempts de tout germe susceptible de souiller le milieu ou de nuire aux cellules. L'opération aseptique d'insectes de petites tailles, tels les Drosophiles, les Moustiques ou les Aphides, présente des difficultés multiples à cause des germes souillant le tégument et le tube digestif ou à cause de ceux se trouvant sur les trachées ou même dans l'hémolymphe. Le

Revue de Pathologie végétale
et d'entomologie agricole de France
t. xl - n° 2 - Avril-Juin 1961

prélèvement d'organes sur animaux élevés aseptiquement facilite la résolution de ce problème (Vago, Fosset, Meynadier, 1961).

On enregistre à l'heure actuelle un certain nombre d'essais visant l'élevage de plusieurs espèces d'insectes en conditions aseptiques. Ceux-ci concernent toutefois surtout les espèces s'alimentant soit sur milieux synthétiques, soit sur substances organiques inertes (Guyenot, 1917; Wollman, 1921-1922; Glaser et Trager, 1935; Lennox, 1939; House, 1954; Ishii et Hirano, 1955; Vauderzant et Reiser, 1956; Friend et Patton, 1956; Friend, Backs et Cass, 1957, etc.).

Or, une grande partie des insectes et sans doute la majorité de ceux ayant un intérêt pour la pathologie agricole et pour le problème des vecteurs, sont phytophages. Dans leurs cas, la réalisation des conditions de milieu et de l'alimentation aseptique est particulièrement complexe du fait de la nécessité de la présence d'un végétal vivant.

Il est vrai qu'en désinfectant extérieurement le chorion des œufs et en préparant une enceinte stérilisée, on arrive à élever certains Lépidoptères avec des feuilles trempées préalablement dans une solution désinfectante et éventuellement rincées à l'eau stérile (Provasoli, 1937). Mais de tels élevages ne peuvent jamais être considérés comme aseptiques malgré tous les soins que l'on apporte à la désinfection de l'aliment végétal et à son introduction. D'ailleurs le principe lui-même n'est pas théoriquement satisfaisant, les imperfections incontrôlables de désinfection des feuilles et les souillures liées à l'introduction fréquente de l'aliment n'étant pas « à priori » exclues.

Pour ces raisons, nous avons envisagé l'élevage d'insectes phytophages en le basant sur la culture aseptique de végétaux. La méthode perfectionnée pendant cinq ans consiste en plusieurs phases successives :

— Constitution d'unités d'enceintes et de milieux aseptiques convenant au végétal et à l'insecte;

— Réalisation de la culture aseptique des végétaux servant d'aliment;

— Désinfection des insectes ou de leurs œufs;

— Élevage aseptique (*).

L'unité stérile

L'enceinte constitue un ensemble stérilisable dont un milieu et son support occupent le fond pour assurer le maintien et la nutrition d'une plante et dont le volume est étudié pour offrir à la plante et à l'insecte l'air et l'espace nécessaires à leur développement.

Les récipients devant résister à la stérilisation humide de 120 °C, l'emploi de verrerie Pyrex ou de matières plastiques thermostables

(*) Nous exprimons nos remerciements à MM. Limasset, Delmas, Grison, Biliotti, Missonnier, Hurpin, Dusaussoy, Le Berre, Cayrol de l'I.N.R.A. pour discussions et pour la mise à notre disposition d'insectes.

s'impose. Nous avons expérimenté avec succès les polycarbonates tels que le Makrolon.

La forme et les dimensions des enceintes dépendent de celles de la plante hôte et aussi de l'importance des plantations. Ainsi par exemple, pour la culture individuelle du maïs, les tubes longs et larges conviennent le mieux tandis que les flacons Erlenmeyers sont plus adaptés à la plantation de végétaux bas comme le trèfle. Nous avons cependant constaté qu'en raison des proportions air-milieu-plante, les flacons cylindriques assez hauts, dont la contenance va de 1 à 5 litres, conviennent dans la plupart des cas. En effet, ces récipients assurent, avec une quantité de milieu suffisante, le maximum de volume d'air et de largeur au moment du complet épanouissement de la plantule.

Nous avons réalisé également des plantations aseptiques de nombreuses plantules à la fois dans des flacons larges, de 5 à 10 litres, fabriqués spécialement ou dans des enceintes à dimensions variées constituées de plaques soudées de polycarbonates.

Dans des cas où l'introduction de substances chimiques ou de germes pathogènes est prévue ou encore afin de permettre des manipulations, tailles, greffes, etc., les récipients sont munis d'une seconde ouverture plus petite, placée latéralement à une hauteur déterminée. La fermeture des orifices avec du coton hydrophile ou avec des membranes plastiques filtrantes assure un certain échange d'air.

Les milieux apportant les substances nécessaires au développement de la plante hôte ont été basés sur les formules employées pour la culture des tissus de végétaux ou sur celles des cultures sans sol. Les macro-éléments : N-S-P-K-Mg-Ca, ont été introduits sous forme de l'une des solutions minérales de White, Heller ou Knop. Les meilleurs développements chez nos cultures de plantules ont été obtenus avec les deux dernières formules. Les oligo-éléments permettant d'éviter les carences sont contenus dans la solution de Berthelot utilisée à la dose de 10 gouttes pour 1 000 cm^3. Les glucides ont été apportés sous forme de glucose à une concentration de 4 ‰. Les modificateurs de croissance comprenaient : le chlorhydrate de cystéine à la concentration de 10^{-5}, l'acide naphtyl-acétique (10^{-6}) l'aneurine (10^{-6}).

Les solutions ont été présentées soit solidifiées en les gélosant à 20 ‰ soit sous forme liquide sur différents supports. La gélose solidifiée, largement employée en bactériologie et pour la culture d'organes de végétaux, est peu indiquée pour l'élevage aseptique des insectes car elle n'assure pas une surface suffisamment ferme (même à 20 ‰) et exempte de liquide pour que les insectes, surtout aux premiers âges larvaires ne se noient ou ne s'enfoncent pas. De plus, l'enfouissement des larves de certains Lépidoptères au moment de la nymphose, comportement à respecter, ne peut avoir lieu dans la gélose. Ainsi nous avons fait usage de cette technique pour des cas particuliers, comme ceux des

endophages ou des Aphides où les objections ci-dessus ont une importance plus réduite.

Le mélange de la solution nutritive à des supports granuleux permet d'assurer les conditions optima pour le cycle des nombreux insectes tout en réalisant la nutrition normale des plantules. Nous avons cherché à tester un certain nombre de substances susceptibles de jouer le rôle de support et présentant des caractéristiques de neutralité.

Les granules de verre se sont montrées supérieures à la gélose mais présentent l'inconvénient de ne pas mettre les racines à l'abri de la lumière et de laisser en surface, de la solution nutritive où les chenilles se noient.

La vermiculite assure un développement excellent mais la consistance insuffisante du milieu empêche souvent la radicule de pénétrer directement et fait remonter la solution nutritive à la surface.

Le coton absorbe le milieu et l'on peut définir le degré de saturation, mais la pénétration des radicules étant difficile on assiste à la formation de radicelles aériennes et la plante n'est pas toujours suffisamment fixée au substratum pour supporter le poids des insectes.

Il est également possible d'utiliser comme milieu la terre de jardin entièrement déshydratée au four Pasteur afin d'éviter les éclaboussures qui se produiraient dans les flacons lors de la stérilisation à l'autoclave à 130 °C d'une masse de terre saturée d'eau. L'humidification avec de l'eau ou avec la solution nutritive se fait alors au moment de l'ensemencement.

Les granulés de matière plastique du type polycarbonate résistant à la stérilisation, ont permis l'obtention de belles plantules et la réduction des suintements en surface si les dimensions des granules sont autour de 1-3 mm.

Le sable de rivière présente des propriétés différentes selon la grosseur des éléments :

— Galets passant à la grille de 20 mm,

— Sable grossier passant à la grille de 5,5 mm,

— Sable fin passant à la grille de 1,6 mm,

— Sable très fin passant à la grille de 0,6 mm.

Cette dernière catégorie semble constituer pour les raisons mentionnées plus haut, le meilleur substratum assurant le déplacement des insectes, même petits, sans risque d'enfoncement et permettant aussi l'enfouissement prénymphal. Le sable lavé et totalement déshydraté au four Pasteur est distribué dans les récipients et stérilisé une première fois à l'autoclave à 130 °C pendant 30 minutes avant l'addition de la solution nutritive.

Comme nous l'avons souligné, la surface non inondée de tous ces supports est essentielle pour l'insecte. Or, une saturation de ce même substratum avec la solution nutritive est indispensable pour la plante

hôte. Ceci implique un établissement strict du rapport des deux constituants, et, ceci pour chaque type de récipient. A titre d'exemple, nous précisons que pour le sable de catégorie « très fin » ce rapport est de 1 à 4 entre cm^3 de solution et g de sable.

Un autre rapport dont il est indispensable de tenir compte est celui du milieu vis-à-vis du volume de l'enceinte pour assurer selon les principes exposés plus haut l'épanouissement maximum de la plante hôte et de l'insecte. A titre d'exemple indiquons que pour le sable « très fin » le milieu (support + solution) peut constituer 1/5 du volume de l'enceinte dans le cas de flacons cylindriques et 1/4 dans celui de flacons Erlenmeyer. Pour les récipients rectangulaires les proportions ont dû être calculées pour chaque type.

Quel que soit le support, l'enceinte contenant le milieu est stérilisée à l'autoclave à 110 °C et l'ensemble constitue une « unité stérile » prête à être stockée.

Culture aseptique de la plante hôte

Afin d'assurer l'alimentation des insectes, il est nécessaire d'obtenir préalablement un développement assez important de la plante hôte aseptique et de préparer pour cela la culture du végétal avec une grande avance par rapport à la période prévue pour l'élevage aseptique (tableau n° 2).

Dans la majorité des cas, nous avons obtenu les plantes hôtes stériles à partir de graines mais la technique des boutures aseptiques a également été envisagée. Les graines peuvent être désinfectées avec plusieurs substances ; nous avons retenu l'hypochlorite de calcium à 200-210° chlorométrique à cause de la non-persistance de sa novicité. La durée de trempage dans une solution d'hypochlorite dépend essentiellement de la texture du tégument; Gautheret (1959) note pour la culture de tissus à partir des graines, des différences notables selon espèces lorsqu'il emploie l'hypochlorite de calcium 35 °/₀₀. Nous avons travaillé avec une concentration plus forte : 70 °/₀₀ et nous avons surtout assuré une agitation ininterrompue du bain désinfectant. Cette opération effectuée avec agitateur électromagnétique a permis une désinfection parfaite des graines surnageant et de celles dont le tégument présente des infractuosités profondes. L'hypochlorite est éliminé ensuite par rinçage des graines 3 à 4 fois dans l'eau stérilisée. Nous nous sommes aussi servis d'un appareil constitué d'un flacon à fond plat (25-50 cm^3) contenant le bâtonnet de l'agitateur électromagnétique et relié par plastique souple à un récipient d'eau distillée. Le tout étant stérilisé, le flacon est rempli de solution d'hypochlorite et les graines introduites sont désinfectées avec agitation. Le récipient d'eau distillée étant soulevé de quelques centimètres, un rinçage continu des graines se produit sans ouverture de l'ensemble (tableau I).

Tableau I

Durée de désinfection de graines,
avec agitation dans l'hypochlorite de calcium 70 °/oo
permettant d'obtenir une asepsie de 95 à 100 %

Espèce végétale	Durée de trempage (en minutes)
Brassica napus L.	10
Cucumis melo L.....	15
Phaseolus vulgaris L.....	15
Raphanus sativuu L.....	15
Trifolium repens L.....	15
Zea mays L.	15
Morus alba L.....	20
Pisum sativum L.....	20
Ricinus communis L.	20
Lactuca saliva L.	30
Scorzonera hispanica L.....	30
Solanum lycopersicum L....	30
Nicotiana glutinosa L.	60

Pour les végétaux à tiges lignifiées, la culture de méristème et le bouturage de fragments de tiges portant des bourgeons ont été mis en œuvre en nous inspirant des techniques de Gautheret (1935, 1959), de Heller (1953) et de Morel (1948) pour le premier cas, et en réalisant une désinfection à l'hypochlorite de calcium à 70 °/oo avec des durées déterminées par tâtonnement pour chaque espèce dans le dernier cas. Nous avons mis en culture, en vue d'élevages d'insectes des plantes grasses désinfectées par fragments, avec la solution ci-dessus.

L'ensemencement des milieux avec les graines ou les boutures désinfectées s'est effectué soit par des méthodes bactériologiques, près d'une flamme, dans une cabine stérilisée aux rayons ultraviolets, soit dans une boîte hermétique entièrement stérile en y opérant après désinfection des mains. Les graines doivent être enfoncées dans le milieu, surtout dans le sable fin, afin d'assurer à la plantule une fixation supportant le poids des insectes même volumineux. Aussi est-il nécessaire d'opérer avec des instruments adaptés à chaque type de graines, pipettes pour les petites, pinces spéciales pour les volumineuses (pois, ricin). Les manipulations au niveau du milieu à travers le goulot deviennent assez délicates lorsqu'il s'agit de récipients de 5 litres ou plus.

Le contrôle de l'asepsie des cultures est effectué systématiquement et devient très important lorsqu'il s'agit de la culture de nombreuses plantules dans une même unité stérile. En effet, il suffit d'une seule graine insuffisamment désinfectée pour que le succès d'un élevage portant sur vingt, cinquante plantules ou plus, soit compromis. Dans le cas de ces cultures importantes nous réalisons après désinfection, la germination dans des tubes individuels contenant de la gélose nutritive et ne transplantons que les graines ne donnant naissance à aucun déve-

loppement bactérien ou cryptogamique au bout de cinq à six jours. Précisons toutefois, qu'en employant toujours des graines de même origine, soigneusement choisies et désinfectées, nous obtenons régulièrement une asepsie totale des unités d'élevage contenant une trentaine de pois, navets, tomates.

Les récipients ensemencés sont incubés, afin que les plantes se développent suffisamment pour alimenter l'insecte introduit, dans des étuves ou chambres conditionnées. En dehors d'une température régulière (20 °C moyenne convenant pour la plupart des végétaux) l'élément le plus important est l'éclairement. Nous l'avons assuré avec les tubes type « phytorel » posés à 50 cm des cultures et réglés à une photopériode de 18 heures. Pour les cultures dont le support du milieu est transparent (gelose, verre, polycarbonates), un meilleur développement des racines a été obtenu en noircissant l'enceinte extérieurement avec du vernis à l'alcool.

Tableau II

Nombre de plantes pouvant être cultivées dans une « unité stérile » en vue d'alimenter un élevage

TYPE DE RÉCIPIENT	*Pisum sativum* nain	*Solanum lycopersicum*	*Zea mays*	*Brassica napus*	*Ricinus communis*	*Phaseolus vulgaris* nain
TUBE :						
25 × 170	...	...	...	1 pl. pour aphides		
45 × 250	non conseillé	non conseillé	1 pl. début dével.	non conseillé		
50 × 500	*id*	*id*	1 pl.	*id*		
FLACON CYLINDRIQUE :						
150 cm³	1 pl. début dével.	...	non conseillé	1 pl. pour aphides		
250 cm³	*id*	...	*id*	1 pl.		
500 cm³	1 pl.	1 pl. début dével.	*id*	1 pl.	...	non conseillé
1 L	3 pl.	1 pl.	*id*	2 pl.		
2 L	5 pl.	3 pl.	*id*	3 pl.	...	1 pl.
3 L	8 pl.	4 pl.	4 pl. début dével.	non conseillé	1 pl. début dével.	2 pl.
5 L	12 pl.	6 pl.	5 pl. début dével.	*id*	1 pl.	5 pl.
10 L	20 pl.	10 pl.	10 pl.	*id*	2 pl.	12 pl.
FLACON ROUX :						
500 cm³	1 pl.	1 pl. début dével.	non conseillé	non conseillé		
1 L	3 pl.	2 pl.	*id*	*id*		
FLACON ERLENMEYER :						
250 cm³	non conseillé	non conseillé	*id*	1 pl. pour aphides		
500 cm³	*id*	*id*	*id*	1 pl.		
1 L	1 pl.	1 pl.	*id*	2 pl.	...	non conseillé

En calculant d'avance le rythme de mise en route ou de repiquage ou encore le cycle des insectes à élever, nous avons réalisé un roulement continu de réserve de cultures de plantes aseptiques. Les espèces maintenues varient depuis trois ans selon les expériences en cours, et ont été choisies, dans la mesure du possible, parmi celles dont les graines se désinfectent le plus facilement et dont le mode de développement permet un épanouissement en vase clos d'une façon assez rapide. Le choix est enfin orienté par l'aptitude de la plante à fournir dans ces conditions suffisamment de feuilles, tubercules ou fleurs pour assurer le développement de l'insecte. Les espèces actuellement entretenues au laboratoire sont : pois, haricot, tomate, ricin, navet, choux, tabac, tabac glutineux, laitue, scorsonère, maïs, riz, melon, mûrier, peuplier, vigne, plantes grasses.

Obtention d'insectes aseptiques

Les élevages d'insectes sur les plantes cultivées dans les « unités stériles » s'effectuent à partir d'un stade de l'animal où celui-ci peut être entièrement désinfecté. Ce stade est dans la plupart des cas l'œuf car, même les chrysalides à première vue faciles à désinfecter, hébergent intérieurement des bactéries, souvent en grand nombre. Toutefois, dans certains cas, nous nous sommes adressés à d'autres éléments comme par exemple aux embryons des Aphides vivipares.

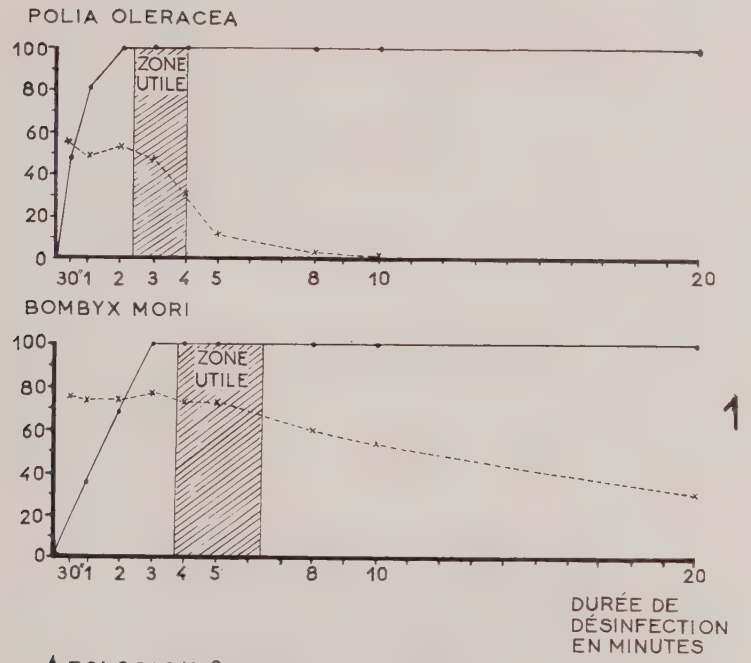
Pour obtenir des œufs aseptiques nous avons suivi deux principes. Il était en effet possible de prélever dans certains cas des œufs aseptiques fécondés d'*Antherea pernyi* ou de *Philosamia cynthia* au moment de la ponte après avoir préalablement désinfecté au bichlorure de mercure la région abdominale de la femelle adulte. Sur les mêmes espèces nous avons obtenu aussi des œufs aseptiques en délivrant les premiers œufs du vagin (après fécondation) par opération aseptique selon la technique employée en culture de tissus.

Toutefois, nous nous sommes adressés le plus souvent à la désinfection du chorion des pontes. Nous avons estimé indispensable de pré-

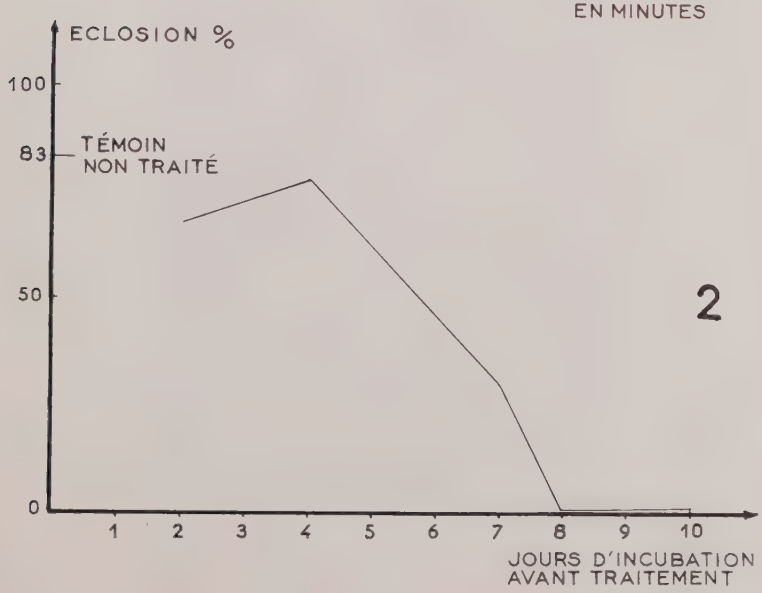
Légende de la planche

Fig. 1 : Courbes des pourcentages de l'asepsie (—·—) et de l'éclosion (— —) après désinfection des œufs à l'hypochlorite de sodium à 5 %, en partant d'une solution titrant 15° chlorométriques. Remarquer les zones utiles de durée du traitement correspondant à une asepsie totale tout en permettant une éclosion satisfaisante.

Fig. 2 : Courbe de pourcentage de l'éclosion des œufs de *Bombyx mori* en fonction de la période d'incubation où la désinfection à l'hypochlorite de sodium à 5 % pendant cinq minutes a eu lieu.


POLIA OLERACEA
100
80
60
40
20
0
ZONE UTILE
30'1 2 3 4 5 8 10 20
BOMBYX MORI
100
80
60
40
20
0
ZONE UTILE
30'1 2 3 4 5 8 10 20
DURÉE DE DÉSINFECTION EN MINUTES

1


ECLOSION %
100
83
TÉMOIN NON TRAITÉ
50
0
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
JOURS D'INCUBATION AVANT TRAITEMENT

2

ciser non pas par tâtonnements, mais par essais systématiques, pour les œufs de chaque espèce et pour chaque désinfectant :

a) La courbe d'éclosion;

b) La courbe d'asepsie;

c) La zone de chevauchement des deux courbes;

en fonction de la concentration du désinfectant et de la durée du traitement.

Le degré d'asepsie des chorions a été testé en déposant des œufs individuellement sur milieux bactériologiques et mycologiques : gélose nutritive, gélose anaérobie et gélose Sabouraud. La nocivité a été évaluée par le taux d'éclosion des larves avec complément de renseignements sur la durée du premier âge. La figure 1 montre pour l'hypochlorite de sodium à 5 % et pour les espèces *Pòlia oleracea* et *Bombyx mori*, les valeurs exprimées en pourcentage concernant les deux facteurs et font apparaître la zone de traitement satisfaisant les exigences à la fois de la viabilité et de l'asepsie. Nous avons également essayé, mais avec beaucoup moins de satisfaction, le formol à 6 % pendant dix à trente-cinq minutes selon les espèces ou le bichlorure de mercure à 1 ‰ pendant trois à dix minutes suivis de rinçages répétés.

Ayant observé une certaine irrégularité de réussite lors de la désinfection des œufs incubés depuis plus ou moins longtemps, nous avons effectué les tests ci-dessus systématiquement sur les œufs d'un même lot désinfecté chaque jour successivement après la mise en incubation. Nous donnons dans la figure 2 les courbes d'asepsie et de nocivité relevées chez le Lépidoptère *Bombyx mori* et montrant que les risques d'endommagement augmentent vers la fin de l'évolution de l'embryon.

La forme, la consistance ainsi que le mode de fixation ou de groupement des œufs, le relief de leur chorion, sont des facteurs décisifs pour la désinfection. Les premières difficultés se rencontrent en général moins à cause des dimensions réduites des œufs, comme on le croirait volontiers, que pour leur séparation parfaite sans produire de lésions par où le désinfectant pénétrerait. Certaines pontes particulièrement agglomérées ou protégées (*Malacosoma neustria*, *Thaumetopoea pityocampa*) doivent nécessiter d'autres essais étant donné leur intérêt en pathologie. Le trempage dans l'eau ou dans un détergent (Teepol, Drepol, Tween 80) très dilué a souvent facilité l'opération.

Tenu compte de ces éléments, le mode de séparation et la désinfection des œufs sont à mettre au point pour chaque espèce. Il est à remarquer, que la limite inférieure de la durée de traitement varie peu, car elle est imposée par l'action du désinfectant vis-à-vis des germes.

La désinfection s'achève par un rinçage à l'eau stérile. Cette dernière éliminée, les œufs continuent à être incubés.

Dans certains cas, nous avons dû recourir à d'autres stades d'insectes que les œufs. Ainsi que nous avons obtenu des élevages aseptiques

des Aphides *Macrosiphum rosae*, *M. pisi* et *Myzus persicae* en désinfectant l'adulte virginipare par trempage dans l'hypochlorite de sodium à 5 % (durée à définir pour chaque cas) et en prélevant par pression exercée sur l'abdomen, le premier embryon-larve.

L'élevage aseptique

L'introduction des œufs, ou des larves aseptiques dans l'unité stérile s'est effectuée d'une façon semblable à l'ensemencement des milieux avec les graines. Les opérations se sont déroulées selon les techniques bactériologiques, dans des cellules désinfectées tenues en surpression, ou encore dans des boîtes à manipulations aseptiques.

Nous avons transvasé individuellement les œufs désinfectés ou les larves issues de ceux-ci. En effet, nous avons intérêt, surtout dans les lots où l'éclosion des œufs n'est pas régulière ou quand le traitement désinfectant est voisin de la limite de nocivité, à laisser éclore les œufs dans le tube de désinfection et à ne transférer que les larves néonates vigoureuses.

Fig. 3 : Culture aseptique de pois en floraison au moment de l'ensemencement avec jeunes larves de Noctuelles.

N.B. La légère buée inévitable dans les récipients hermétiques diminue obligatoirement la netteté des photographies.

Le transfert est une opération délicate car il s'agit de saisir les œufs devenus fragiles après la désinfection ou les larves néonates frêles et de les déposer sur les plantes sans les blesser tout en respectant l'asepsie. Nous nous sommes servis avec succès de fils de platine ou de pipettes Pasteur plongés dans de la gélose solidifiée. Les œufs et les larves adhérent aux grains de gélose et peuvent être collés avec eux sur les plantes. Cette technique est particulièrement pratique si l'on retient à l'intérieur d'une pipette Pasteur effilée de la gélose solidifiée que l'on fait sortir ensuite sous forme de boudin pour le déposer en soufflant dans la pipette.

Les insectes ont pu atteindre leur développement maximum, leur nymphose et devenir adultes sans ouverture du récipient, si la quantité d'aliment contenu dans l'unité stérile était bien calculée. Cette évaluation doit porter aussi bien sur le nombre de plantules par enceinte que sur le degré de leur développement lors de l'introduction de l'insecte. En effet, comme nous l'avons dit plus haut, la vitesse de développement des plantes et leur rendement en feuilles sont extrêmement variables et il est difficile d'en avoir une idée d'après le comportement de la même espèce en conditions septiques. A titre d'exemple, nous donnons un tableau concernant le rapport plante-insecte pour quelques espèces (tableau III).

Tableau III

Age optimum d'une plante
en vue de l'introduction d'un insecte aseptique

Zea mays	8 jours	*Solanum lycopersicum*...	80 jours
Pisum sativum.....	15 —	*Brassica napus*	90 —
Ricinus communis	25 —	*Morus alba*.....	110 —
Lactuca sativa	30 —		

D'un autre côté, si l'insecte épuise la plante avant d'avoir fini son cycle larvaire, et ceci arrive fréquemment lorsqu'on élève un insecte pour lequel on ne connaît pas encore l'avance de développement optimum de la plante hôte, il est possible de le repiquer dans d'autres enceintes contenant une plante développée. Ce repiquage se fait alors selon les méthodes bactériologiques en remplaçant le fil de platine par des pinces spéciales stérilisées pour saisir l'insecte même à un stade où il a une longueur de plusieurs centimètres. L'agilité étant gênante, nous avons immobilisé l'insecte par introduction de gaz carbonique dans l'enceinte à travers un filtre de coton.

Lorsque le comportement de l'insecte le permet, comme chez les *Pyrausta*, *Antherea*, *Bombyx*, *Mamestra*, l'introduction de plusieurs chrysalides, de larves ou encore de papillons dans une même enceinte aboutit à l'accouplement et à la ponte aseptique. Cette dernière a servi

par la suite, sans désinfection, comme point de départ à de nouveaux élevages. La répétition de ce transfert est le moyen d'établissement de souches aseptiques. Nous en entretenons en ce moment deux de *Mamestra brassicae*, deux de *Plusia gamma* et plusieurs d'Aphides.

A titre d'exemple, nous résumons le déroulement de trois types d'élevages différents :

Polia oleracea L. (*Lepidoptera*)

Les œufs pondus sur gaze sont détachés lentement au pinceau après trempage dans l'eau teepolée, opération délicate à cause de la fragilité des œufs. Par contre, ils se séparent aisément les uns des autres.

Désinfection le 4e jour de l'incubation, à l'hypochlorite de sodium à 5 % pendant 2-3 minutes, rinçage à l'eau stérile.

Incubation dans le tube de rinçage.

Test d'asepsie sur géloses nutritive, anaérobie et Sabouraud (97 à 100 % de stérilité).

Eclosion des larves dans le même récipient entre les septième et neuvième jour de l'incubation à 20 °C.

Test d'asepsie de 30 larves néonates sur géloses nutritive, anaérobie et Sabouraud (100 % de stérilité).

Mise en élevage des larves néonates le lendemain de l'éclosion,

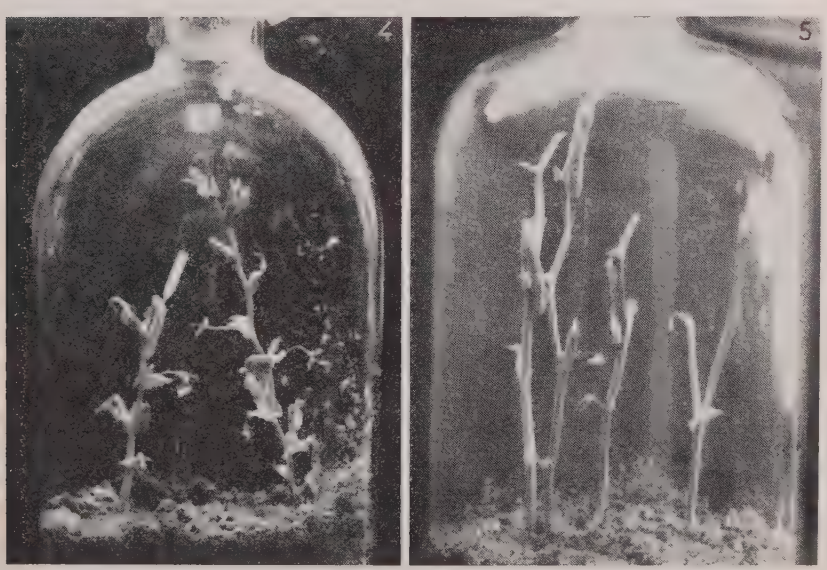


FIG. 4 : Deux larves aseptiques de *Plusia gamma* (→) se nourrissant sur pois.

FIG. 5 : Plantules aseptiques de pois entièrement consommées par trois larves de *Mamestra brassicae*.

sur pois nains âgés de 15-16 jours, en suivant la technique bactériologique consistant à effectuer les prélèvements à l'aide de pipettes remplies de gélose.

Développement larvaire de 17 à 21 jours à 20 °C avec photopériode de 18 heures au cours duquel la larve consomme 11 à 14 plantes de pois nains, soit le contenu d'une unité stérile cylindrique de 5 litres.

Test d'asepsie de 10 % des larves (sans ouvrir les autres unités) prélèvement du tube digestif, de l'épiderme, des déjections.

Après enfouissement dans le milieu-sable les larves se nymphosent et donnent naissance aux imagos au bout de 20 à 23 jours sans subir (dans tous nos essais) de diapause.

Test d'asepsie de chrysalides et d'adultes sur les milieux ci-dessus.

Acyrthosiphon pisum HARR. (*Homoptera, Aphididae*)

A partir d'un élevage septique sur pois, les virginipares les plus volumineuses sont désinfectées par trempage dans l'hypochlorite de sodium à 5 % pendant 4 minutes et transférées sur gélose nutritive. Là, l'embryon le plus développé est prélevé par pression sur l'abdomen de la virginipare et transféré dans un autre tube de gélose nutritive et ensuite sur pois aseptique cultivé en unité stérile de 50-100 cm^3.

Le test de stérilité étant satisfaisant, le puceron est repiqué sur pois dans l'enceinte d'élevage (500 cm^3).

La multiplication a lieu rapidement avec aussi l'apparition d'ailés et les plantes sont envahies de pucerons amenant l'épuisement visible d'une plantule en 20-25 jours, de quatre plantules en 35-40 jours.

Le repiquage aseptique de l'élevage s'impose pour lequel la technique de la pipette remplie de gélose s'est révélée excellente. Les virginipares sont transférées d'abord sur géloses nutritive et Sabouraud ensuite sur la plante hôte. L'élevage n'est continué que si les milieux sont restés stériles. En règle générale et en suivant strictement les techniques de repiquage aseptique, les pucerons se montrent exempts de toute souillure.

En repiquant l'élevage chaque fois que la population devient abondante, nous avons établi des souches aseptiques de cette espèce.

Bombyx mori L. (*Lepidoptera*)

La culture de la plante hôte *Morus alba* L. étant particulièrement longue, les préparatifs de l'élevage doivent être prévus longtemps avant la date projetée pour celui-ci. Nous avons utilisé les plantules de mûrier pour le début de l'élevage après un développement de 90 à 140 jours (FOSSET, 1960).

Les œufs de *B. mori* ont été désinfectés du 3e au 5e jour de l'incubation à l'hypochlorite de sodium à 5 % pendant 4 à 6 minutes. Le décollement et la séparation des œufs sont particulièrement aisés pour cette espèce et la durée de désinfection jouit d'une marge de sécu-

rité très large à cause de la résistance élevée du chorion. L'éclosion a lieu dans le tube de rinçage, ou sur gélose nutritive afin de tester l'asepsie des œufs. Celle-ci s'est avérée pratiquement toujours de 100 %. Les larves néonates passées sur gélose pour contrôle sont transférées sur la plante hôte.

Contrairement aux élevages d'un grand nombre de Lépidoptères comme *Pieris*, *Mamestra*, *Polia*, etc. pour lesquels le cycle a pu être

Fig. 6 : Une série d'élevages aseptiques de *Polia oleracea* sur tomates.

Fig. 7 : Vue sur une pièce d'élevages aseptiques.

réalisé dans une même unité stérile de grand volume, une telle réussite paraît improbable pour *B. mori*, tout au moins avec les techniques jusqu'alors mises en œuvre. Ceci tient à deux raisons l'une, la lenteur du développement de la plante hôte, l'autre, la grande taille de la larve amenant une forte consommation surtout aux derniers âges. Ainsi plusieurs repiquages se montrent indispensables et même en employant des unités stériles de 5 litres contenant chacune une dizaine de plantes de *Morus*, il faut envisager 7 à 8 repiquages pour qu'une larve puisse terminer son développement.

Évidemment, ceci multiplie les possibilités de souillures microbiennes et pour cette raison des contrôles d'asepsie plus fréquents sont de première importance. La larve unique transférée ne pouvant être sacrifiée, la mise sur milieux bactériologiques des déjections prélevées après chaque transfert reflète assez fidèlement la présence ou l'absence de conditions aseptiques.

La nymphose peut se dérouler normalement mais l'humidité élevée gêne souvent la formation du cocon. L'absence de diapause nymphale permet d'obtenir l'accouplement des papillons et la continuation des élevages vers l'établissement de souches aseptiques.

Locusta migratoria L. (*Orthoptera*)

La désinfection des œufs à chorion résistant (Le Berre) jouit d'une marge de sécurité très étendue. En effet, après un traitement de 10 mn avec hypochlorite de sodium à 5 % assurant une asepsie 100 %, le taux d'éclosion est toujours resté au-dessus de 50 %. La désinfection s'effectue 2 à 4 jours après la mise à 30 °C dans les tubes de rinçages ou sur géloses assurant le contrôle d'asepsie.

L'introduction des œufs dans l'unité stérile n'a eu lieu que lorsqu'à travers la membrane translucide de l'œuf, le développement très avancé de l'insecte a été noté et ceci afin de ne pas tenir les plantes hôtes trop longtemps à 30 °C ou de ne pas diminuer la température au moment de l'éclosion.

Les élevages ont été faits sur maïs cultivé dans des unités stériles de 5 litres ensemencées 20 jours avant la date de transfert de l'œuf. Après le transfert, les plantes sont maintenues à 30 °C jusqu'à l'éclosion de la larve et l'élevage est continué à 25 °C. L'insecte se développe vite aux dépens du maïs et c'est cette rapidité qui rend ensuite l'élevage assez difficile car même dans les enceintes de 5 litres contenant 5 à 7 plantes ou de 10 litres contenant une dizaine de plantes, l'alimentation est insuffisante pour achever le cycle. Les transferts sont peu aisés à cause de l'agilité de l'animal et l'anesthésie s'impose. Les prélèvements effectués après un mois d'élevage à partir des tubes digestifs, de l'épiderme et des déjections ont montré la possibilité de maintenir l'asepsie parfaite même après plusieurs repiquages.

Conclusions

En suivant les principes et les méthodes que nous venons de relater, il était possible de réaliser les élevages aseptiques prototypes de plusieurs insectes phytophages appartenant aussi bien aux Lépidoptères qu'aux Coléoptères et aux Diptères. Ces essais font entrevoir la possibilité d'application en vue de l'étude de problèmes dépendant de l'obtention d'insectes aseptiques. Nous en avons signalés certains dans l'introduction de cette note, nous en mentionnons ici quelques-uns pour lesquels nous avons déjà réalisé des travaux.

L'obtention de Lépidoptères aseptiques a rendu possible l'étude d'un problème capital de virologie, celui de la transmission des virus latents. En effet, nous avons considéré que toute étude concernant l'effet activateur d'une substance chimique vis-à-vis de virus latents n'est significative qu'en excluant d'une façon parfaite toute possibilité d'apport externe de virus. Le seul moyen théoriquement acceptable était l'élevage aseptique et nous avons réalisé dans ce but de tels élevages de *Plusia gamma*, de *Mamestra brassicae* et de *Bombyx mori* (élevages successifs difficiles à cause de la consommation très importante de feuilles). Des pulvérisations de substances chimiques activatrices de viroses ont été effectuées par un orifice spécial des enceintes dont nous avons fait mention plus haut et l'apparition des viroses a été contrôlée par histologie.

Un autre sujet relevant de la pathologie comparée est celui de la transmission des virus des végétaux par les insectes vecteurs. Ici encore, nous travaillons couramment sur les Aphides et en particulier sur *Myzus persicae* aseptiques élevés en cultures de pommes de terre soit saines, soit atteintes de l'enroulement.

Un domaine où la culture aseptique d'insectes phytophages jouit déjà d'application depuis un an est celui de cultures de tissus d'insectes (Vago, Fosset et Meynadier, 1961). En effet, le prélèvement des tissus d'insectes aseptiques ou même la dissociation enzymatique d'insectes entiers en cellules séparées cultivables, peut se faire sans aucune désinfection préalable, ce qui évite des intoxications ou des endommagements des cellules et rend possible la mise en culture de tissus naturellement septiques tels que l'épithélium intestinal.

Enfin, dans le domaine des symbioses plusieurs essais sont en cours parmi lesquels nous mentionnons l'étude du rôle des bactéries dans la nutrition des larves de *Chortophila brassicae* entrepris en collaboration avec M. Missonnier de l'école nationale d'agriculture de Rennes.

Ces études (dont les détails seront donnés ailleurs) comme celles qui pourront être envisagées, demandent une mise au point préalable pour chaque élevage aseptique, même en se reportant aux principes relatés, car il faut tenir compte avant tout pour envisager une perspec-

tive dans ce domaine, de la grande variété des exigences physiologiques et de comportement des insectes phytophages.

C'est pour cette raison que nous souhaiterions voir réunir par un organisme international la liste des élevages de souches aseptiques d'insectes phytophages au fur et à mesure que ceux-ci seront réalisés et entretenus par divers laboratoires.

ZUSAMMENFASSUNG

Beschreibung von aseptischen Zuchten und Zuchtmethoden pflanzenfressender Insekten auf « in vitro » kultivierten keimfreien Pflanzen und Pflanzenorganen

BIBLIOGRAPHIE

Beck, S. D. & J. F. Stauffer. — 1950. An aseptic method for rearing European corn-boeer larvae. — *J. Econ. Entomol.*, **43**, 4-6.

Feder, W. A. — 1958. Aseptic culture of the burrowing nematode. *Radopholus similis* (cobb) thorne on excised okra tissues. — *Phytopath.*, **48**, 392-393.

Fosset, J. — 1960. Culture « in vitro » d'organes et de tissus de mûrier. — *C. R.* 2e *Conf. Techn. Ser. Internat.*, Murcie 153-160.

Friend, W. C., R. H. Backs & L. M. Cass. — 1957. Studies on amino acid requirements of larvae of the onion maggot, *Hylemya antiqua* (m. g.), under aseptic conditions. — *Can. J. Zool.*, **35**, 535-543.

Friend, W. C. & R. L. Patton. — 1956. Studies on vitamin requirement of larvae of the onion maggot, *Hylemya antiqua* (m. g.), under aseptic conditions. — *Can. J. Zool.*, **34**, 152-162.

Friend, W. C., E. H. Salkeld & R. J. McClanahan. — 1958. A chemically defined diet and axenic rearing method for larvae of the seed-corn maggot, *Hylemya cilierura* (rond.) (*Diptera : Anthomyiidae*). — *Can. J. Zool.*, **36**, 931-936.

Friend, W. C., E. H. Salkeld & I. L. Stevenson. — 1959. Acceleration of development of larves of the onion maggot, *Hylemya antiqua* (meig.), by microorganisms. — *Can J. Zool.*, **37**, 721-727.

Gautheret, R. J. — 1935. Recherches sur la culture des tissus végétaux, essais de culture de quelques tissus méristématiques. — *Thèse Sciences Paris*, 279.

— 1959. La culture des tissus végétaux. — *Masson*, 11.

Glaser, R. W. & W. Trager. — 1935. The culture of mosquito larvae free from living microorganisms. — *Amer. Journ. Hyg.*, **22**, 18.

Guyenot, E. — 1917. Recherches expérimentales sur la vie aseptique et le développement d'un organisme (*Drosophila ampelophila*) en fonction du milieu. — *Bull. Biol. France et Belgique*, **51**, 1-330.

Heller, R. — 1953. Recherches sur la nutrition minérale des tissus végétaux cultivés « in vitro ». — *Ann. Sc. Nat. Bot. Biol. Vég.*, **14**, 1-223.

House, H. L. — 1954. Nutritional studies with *Pseudosarcophaga affinis* (fall.) a dipterous parasite of the spruce budworm, *Choristoneura fumiferana* (clem.). — *Can. J. Zool.*, **37**, 331-341.

Ishii, S. & C. Hirano. — 1955. Qualitative studies on the essential amino acids for the growth of larvae of the rice stem borer *Chilo simplex* Butler-under aseptic conditions. — *Bull. Nat. Inst. Agric. Sci.* (Japan), Series C., **5**, 35-48.

Lennox, F. G. — 1939. Studies of the physiology and toxicology of blow flies. I. The development of a synthetic medium for aseptic cultiv ation of larvae of *Lucilia cuprina*. — *Council Sci. Ind. Research Australia Pamphlet*, **90**, 7-24.

Lobund Reports. — 1960. Germfree life studies. — University of Notre-Dame. Press, Notre-Dame Indiana, **3**.

MOREL, G. — 1948. Recherches sur la culture associée de parasites obligatoires et de tissus végétaux. — *Ann. Epiphyties*, **14**, 127-234.

PHILIPS, A. W. & J. H. SMITH. — 1959. Germfree animal techniques and their applications. — *Advances in Applied Microbiol.*, **1**, 141-174.

PROVASOLI, L. — 1937. Sulla possibilità dell'allevamento del *Bombyx mori* in ambiante sterile. — *Boll. Zool. Agr. et Bach.*, 117.

REYNIERS. J. A. — 1943. Micruxgical and Germfree Techniques (J. A. Reyniers ed.). — C. C. Thomas, Springfield, Illinois, 95-113.

TINER, J. D. — 1960. Cultures of the plant parasitic nematode genus *Praty lenchus* on stérile excised roots. I. Their establisment and maintenance. — *Exp. Parasitol.*, **9**, 121-126.

VAGO, C. — 1956. L'enchaînement des maladies chez les insectes. — *Edition Spéciale Comm, Ser. Intern.*, 124.

VAGO, C., J. FOSSET & G. MEYNADIER. — 1961. Culture de tissus à partir d'insectes élevés aseptiquement. — *C. R. Acad. Sc*, **252,** 2759-2761.

VANDERZANT, F. S. & R. REISER. — 1956. Aseptic rearing of the pink bollworm on synthetic media. — *J. Econ. Ent.*, **49**, 7-10.

WIDDOWSON, E., C. C. DONCASTER & D. W. FENWICK. — 1958. Observations on the development of *Heterodera rostochiensis* WOLL in sterile root cultures. — *Nematologica*, **3-4**, 308-314.

WOLLMAN, E. — 1921. Le rôle des mouches dans le transport des germes pathogènes par la technique des élevages aseptiques. — *C. R. Acad. Sc.*, **172**, 298.

— 1921. La méthode des élevages aseptiques en physiologie. — *Arch. Intern. Physiol.*, **18**, 194-199.

— 1922. Biologie de la mouche domestique et des larves de mouches à viande, en élevages aseptiques. — *Ann. Inst. Past.*, **36**, 784.

(*Laboratoire de Cytopathologie de l'I.N.R.A., Saint-Christol-lès-Alès, Gard*)

ACHEVÉ D'IMPRIMER
SUR LES PRESSES DE
L'IMPRIMERIE NOUVELLE
53, QUAI DE LA SEINE, PARIS
LE 30 JUIN 1961

N° : 468 - 1961

LE FRANÇOIS — PARIS
(C. O. L. 15-0217)

Le Gérant : G. HANNEBICQUE. Dépôt légal : 1961/2e, N° 151 P.